

Aus der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig  
und  
dem Zoologischen Garten Leipzig

**Thermografische Ermittlung physiologischer  
Wärmeprofile und pedografische  
Untersuchungen an den Extremitäten sowie  
Haltungsanalysen beim Asiatischen Elefanten  
(*Elephas maximus*) in menschlicher Obhut**

Inaugural Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)  
durch die Veterinärmedizinische Fakultät  
der Universität Leipzig

eingereicht von  
**Jan Schmidt-Burbach**  
aus Berlin

Leipzig, 2009

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Arwid Dauschies

Betreuer: Prof. Dr. Klaus Eulenberger

Gutacher: Prof. Dr. Klaus Eulenberger, Zoologischer Garten Leipzig  
Prof. Dr. Gotthold Gäbel, Veterinär-Physiologisches Institut, Universität Leipzig  
Dr. Wolfram Rietschel, Wilhelma Stuttgart

Tag der Verteidigung: 30.9.2008

Meinen Eltern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>3</b>
2.1	Allgemeine Informationen über Asiatische Elefanten .....	3
2.1.1	Taxonomie .....	3
2.1.2	Wildpopulation .....	3
2.1.2.1	Status .....	3
2.1.2.2	Habitat und Nahrung .....	4
2.1.2.3	Sozialleben .....	4
2.1.3	Population in Menschenhaltung .....	5
2.1.3.1	Geschichte .....	5
2.1.3.2	Status .....	5
2.1.3.3	Haltungsformen .....	6
2.1.3.4	Gehege .....	7
2.1.3.5	Ernährung .....	8
2.2	Fußgesundheit .....	9
2.2.1	Anatomie des Elefantenfußes .....	9
2.2.1.1	Allgemeines .....	9
2.2.1.2	Knöchernes Grundgerüst .....	9
2.2.1.3	Fußunterseite .....	10
2.2.1.4	Der Huf im Nagelbereich .....	11
2.2.2	Häufigkeit und Arten von Fußerkrankungen .....	11
2.2.2.1	Hintergrund .....	11
2.2.2.2	Ursachen .....	14
2.3	Thermografie .....	16
2.3.1	Allgemeines .....	16
2.3.2	Physikalischer Hintergrund .....	17
2.3.3	Funktionsweise einer Thermografiekamera .....	18
2.3.4	Thermografie in der Humanmedizin .....	18
2.3.5	Thermografie in der Veterinärmedizin .....	20
2.3.6	Thermografie in der Zoo- und Wildtiermedizin .....	22
2.4	Druckmessungen .....	24
2.4.1	Hintergrund und Einsatz .....	24
<b>3</b>	<b>Tiere, Material und Methoden</b>	<b>25</b>
3.1	Besuchte Zoos, untersuchte Tiere und technische Ausrüstung .....	25
3.1.1	Teilnehmende Zoos und untersuchte Tiere .....	25

3.1.2 Technische Ausrüstung.....	27
3.1.2.1 Thermografiekamera.....	27
3.1.2.2 Fotokamera.....	27
3.1.2.3 Notebook.....	28
3.1.2.4 Sensormatte.....	28
3.1.2.5 Sensormattenattrappe .....	29
3.1.2.6 Software.....	29
3.1.2.7 Sonstige Ausrüstung .....	30
<b>3.2 Thermografische Untersuchung .....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Vorbereitung .....	30
3.2.2 Untersuchungsschema.....	32
3.2.3 Verarbeitung und Auswertung der Thermobilder .....	33
3.2.4 Datenselektion.....	36
3.2.5 Statistische Auswertung .....	37
<b>3.3 Datenerfassung.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 Fußdruckmessungen.....</b>	<b>39</b>
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Thermografische Untersuchungen .....</b>	<b>40</b>
4.1.1 Normalbefunde.....	40
4.1.1.1 Umgebungseinfluss .....	40
4.1.1.2 Hufwand.....	41
4.1.1.3 Kronsaum.....	42
4.1.1.4 Zehenareal.....	42
4.1.1.6 Zwischenzehenraum.....	43
4.1.1.7 Subkarpal/-tarsalbereich .....	44
4.1.1.8 Karpal-/ Tarsalgelenk .....	44
4.1.1.9 Wärmeprofile.....	45
4.1.2 Exemplarische Befunde.....	49
<b>4.2 Elefantenhaltung in den besuchten Zoos.....</b>	<b>54</b>
4.2.1 Innengehege.....	54
4.2.2 Außengehege .....	55
4.2.3 Pflegemaßnahmen .....	55
4.2.4 Ankettung.....	57
4.2.5 Fortbildung der Tierpfleger .....	57
<b>4.3 Status der untersuchten Elefanten .....</b>	<b>57</b>
4.3.1 Gesundheit der Gliedmaßen .....	57
4.3.2 Ernährungszustand und Herkunft.....	58

4.3.3 Stereotypen .....	59
<b>4.4 Einfluss der Haltungsfaktoren auf die Fußgesundheit .....</b>	<b>60</b>
<b>4.5 Druckmessungen .....</b>	<b>61</b>
<b>5 Diskussion .....</b>	<b>65</b>
5.1 Auswahl der Zoos .....	65
5.2 Thermografische Untersuchungen .....	66
5.2.1 Material und Methoden.....	66
5.2.2 Umgebungseinfluss .....	69
5.2.3 Fußregionen .....	72
5.2.4 Wärmeprofile .....	75
5.2.5 Exemplarische Befunde.....	76
5.2.6 Praktische Relevanz der physiologischen Wärmeprofile .....	78
5.3 Haltung und Fußgesundheit der Elefanten besuchter Zoos.....	79
5.3.1 Material und Methoden.....	79
5.3.2 Elefantenhaltung.....	80
5.3.3 Fußgesundheit.....	82
5.3.4 Einfluss der Haltungsfaktoren auf die Fußgesundheit.....	84
5.4 Druckmessungen .....	86
5.4.1 Material und Methode.....	86
5.4.2 Ergebnisse der Druckmessungen .....	87
5.5 Ausblick .....	89
<b>6 Zusammenfassung .....</b>	<b>91</b>
<b>7 Summary .....</b>	<b>93</b>
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>95</b>
<b>9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>102</b>
<b>10 Danksagung .....</b>	<b>104</b>





# **1 Einleitung**

Fußkrankheiten gehören zu den häufigsten und teilweise am schwierigsten zu behandelnden Krankheiten von Elefanten in Zoohaltung (SCHMIDT 1986). Bis zu 50% der Elefanten sind davon im Laufe ihres Lebens betroffen (MIKOTA 1994). Im Vergleich dazu leiden Wildelefanten zwar auch unter Fußkrankheiten, diese sind aber eher Folgen traumatischer Ursachen, also z. B. Wunden, Frakturen oder Fremdkörpern, wohingegen die in den Zoos auftretenden Probleme anderer Natur sind (JAINUDEEN u. SCHEURMANN 1975, FOWLER 2001, RAJANKUTTY 2004). Hier handelt es sich meist um haltungsbedingte, chronifizierte Krankheiten, wie Pododermatitiden, Druckabszesse oder Nagelrisse (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, WEST 2001).

Die Ursachen für die immense Häufigkeit dieser Probleme sind bisher nicht genau geklärt. Es werden aber verschiedene Faktoren, u. a. mangelnde Bewegung, zu hohes Körpergewicht und das Bodenmaterial der Gehege, zumindest teilweise dafür verantwortlich gemacht (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, WEST 2001, SCHMITT 2003). Die Behandlung solcher Krankheiten wird durch die meist erst spät im Erkrankungsprozess erfolgende Diagnose wesentlich erschwert und im Erfolg gemindert. Diese häufigen Erkrankungen in Gefangenschaft stehen dem Anspruch einer möglichst art- und tiergerechten Haltung entgegen.

Die Thermografie ist eine verhältnismäßig neue, nicht invasive Untersuchungstechnik, welche in früheren Studien in der Entzündungsdiagnostik bei Pferden im Bereich von Erkrankungen des Bewegungsapparates überzeugende Ergebnisse liefern konnte (TURNER et al. 1983, WALDSMITH u. OLTMANN 1994, TURNER 2001). Bei Zootieren wurde diese Technik auch versuchsweise angewandt. Leider fehlen hier aber meist grundlegende Daten zur physiologischen Wärmeverteilung der einzelnen Tiere, weshalb Befundungen mittels dieser Technik einer starken Subjektivität unterliegen (EULENBERGER u. KÄMPFER 1994, HILSBURG 2000).

In dieser Studie werden grundlegende thermografische Daten der Gliedmaßen 95 Asiatischer Elefanten gesammelt und mittels definierter Messregionen systematisch ausgewertet, um ein allgemein gültiges physiologisches Wärmeprofil der Elefantenfüße zu erstellen. Erst diese Grunddaten erlauben eine objektivere und fundiertere Diagnose pathologischer Zustände am Elefantenfuß und können weitergehende Untersuchungen spezieller Krankheiten in der Zukunft ermöglichen.

Da ein nicht unwesentlicher Teil der Ursachen für die häufigen Fußerkrankungen in dem hohen Körpergewicht der Zooelefanten und dem harten Untergrund der Gehege liegt, wird in dieser Arbeit weiterhin mit der Pedografie eine neuartige Technik zur Ermittlung der Druckverteilung unter den Elefantenfüßen mittels einer Sensormatte erprobt. Dies ermöglicht es, erste Aussagen über die dort herrschenden Druckverhältnisse und ihre Verteilung zu treffen.

Weiterhin werden Daten über die Elefantenhaltung und den gesundheitlichen Zustand der 95 untersuchten Elefanten in 17 europäischen Zoos gesammelt, und im Hinblick auf die Problematik der Fußerkrankungen bewertet.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Allgemeine Informationen über Asiatische Elefanten

#### 2.1.1 Taxonomie

Elefanten gehören zur Ordnung der Proboscidea (Rüsseltiere) und dort zur Familie der Elephantidae.

Es wird zwischen drei Elefantenarten unterschieden: Dem Afrikanischen Buschelefanten (*Loxodonta africana*, BLUMENBACH 1797), dem Afrikanischen Waldelefanten (*Loxodonta cyclotis*, MATSCHIE 1900) und dem Asiatischen Elefanten (*Elephas maximus*, NOWAK 1995), welche genetisch klar voneinander getrennt sind (TIEDEMANN et al. 1998, ROCA et al. 2001). Beim Asiatischen Elefanten sind je nach Quelle drei bis vier Unterarten beschrieben worden: *Elephas maximus maximus* auf Sri Lanka, *Elephas maximus indicus* auf dem asiatischen Festland und *Elephas maximus sumatranus* auf Sumatra (TIEDEMANN 2001). MACDONALD (2001) beschreibt noch eine weitere Unterart in Malaysia, *Elephas maximus hirstutus* und auch ein Borneoelefant wurde beschrieben. Genetische Untersuchungen des mitochondrialen Cytochrom b-Gens zeigten allerdings nur geringe Unterschiede zwischen den Elefanten auf Sri Lanka und denen des asiatischen Festlandes und außerdem zum Teil übereinstimmende Genotypen (HARTL et al. 1996, FERNANDO et al. 2000). Diese Funde scheinen der Existenz einer eigenständigen Unterart auf Sri Lanka zu widersprechen (TIEDEMANN 2001).

#### 2.1.2 Wildpopulation

##### 2.1.2.1 Status

Die Wildpopulation Asiatischer Elefanten befindet sich heute in einer kritischen Lage. Früher erstreckte sich das Verbreitungsgebiet der Asiatischen Elefanten von Irak und Syrien über den ganzen asiatischen Raum bis nach China. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Population auf ca. 100 000 Elefanten geschätzt (FOURAKER 2000). Durch die starke Ausbreitung menschlicher Siedlungen in den Lebensraum der Elefanten reduzierte sich diese Zahl auf von der IUCN/SSC Asian Elephant Specialist Group geschätzte 34 500 bis 51 000 Elefanten, welche nur noch in entlegenen Gebieten in den Bergen und Wäldern von Indien, Sri Lanka, Burma, Thailand, Kambodscha, Laos, Vietnam, Malaysia und Indonesien anzutreffen sind (KEMF u. SANTIAPILLAI 2000). Andere Schätzungen gehen sogar von nur noch

28 000 bis 42 000 wilden Elefanten aus (CISZEK 1999).

Starkes Bevölkerungswachstum, unkontrollierter Holzschlag in den Wäldern Burmas, Laos und Kambodschas und nicht zuletzt die Wilderei wegen des Elfenbeins, welche in manchen Regionen zu einem Bullen-Kühe Verhältnis von 1:100 führte, werden in Zukunft zu einer weiteren Zersplitterung und Reduzierung der Population führen (SUKUMAR 1989, FOURAKER 2000, KEMF u. SANTIAPILLAI 2000). Vor allem der immer häufigere Kontakt der Landbevölkerung mit wilden Elefanten, die sich ihre Nahrung auf den Feldern beschaffen, führt zu ständig neuen Konflikten. In Indien fallen diesen Zusammenstößen ca. 300 Menschen pro Jahr zum Opfer, weshalb häufig Elefanten gejagt oder auch vergiftet werden (KEMF u. JACKSON 1995).

Asiatische Elefanten werden von der IUCN (Red List 2000) als gefährdet klassifiziert und im CITES Appendix 1 aufgelistet.

#### *2.1.2.2 Habitat und Nahrung*

In den Verbreitungsgebieten der Asiatischen Elefanten herrscht ein tropisches Klima mit mäßigen tages- und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Sie bevorzugen eine Mischung aus tropischen Wäldern und niedrigem Buschwerk als Habitat und Nahrung, welche von den Tieren leicht in größeren Mengen zur Aufnahme vorbereitet werden kann (MCKAY 1973). Dies führt sie häufig auf bewirtschaftete Felder, was der Grund für die häufigen Konflikte mit der Landbevölkerung ist. Weiterhin gehören Blattwerk, Sträucher, Früchte, Rinde und Äste zu ihrer Nahrung. Dies erfordert viele unterschiedliche Verhaltensweisen zur Futterszubereitung. KURT (2001) definierte 33 verschiedene Vorbereitungsmethoden für Futter, welche die Elefanten mit Hilfe ihrer Stoß- oder Backenzähne, ihrer Vorderbeine oder ihres Rüssels durchführen. Die Zusammensetzung ihrer Nahrung variiert stark, je nach Region und dem Angebot an Pflanzenarten, in der die Elefanten leben (SUKUMAR 1989). Ca. 60 – 80 % ihrer wachen Zeit nutzen sie, um ihren Bedarf von ca. 150 - 300 kg Nahrung pro Tag zu decken und legen dabei täglich eine Strecke von 1-9 km zurück; Bullen bis zu 14 km (MCKAY 1973, SHOSHANI u. EISENBERG 1982, EASA 1992, CISZEK 1999, REIMERS et al. 2001). Diese große Menge an Nahrung ist nötig, da Elefanten über einen verhältnismäßig uneffektiven Verdauungsvorgang verfügen, der nur 35 – 46 % des aufgenommen Futters verwertet (MCKAY 1973, VAN SOEST 1996).

#### *2.1.2.3 Sozialleben*

Kühe bilden stabile Herden mit bis zu 20 Elefanten, die von einer ranghohen Kuh geleitet werden. Unter gewissen Umständen teilen sich diese Herden für kürzere Zeit in kleinere Untergruppen, welche durch Infraschall miteinander Kontakt halten. Bullen ziehen solitär oder kurzzeitig auch in kleinen Verbänden mit anderen, sexuell inaktiven, Bullen umher und sind manchmal in Kuhherden mit im Östrus befindlichen

Kühen zu finden (CISZEK 1999). Sobald die Bullen in die Phase der sexuellen Aktivität kommen (Musth), ändert sich ihr Verhalten stark. Sie durchstreifen größere Gebiete auf der Suche nach empfänglichen Kühen und werden anderen Bullen gegenüber sehr aggressiv (JAINUDEEN et al. 1972). Weibliche Jungtiere bleiben ihr Leben lang innerhalb der Geburtsherde, während sich männliche Jungtiere im Alter von 10-15 Jahren von der Herde trennen (EISENBERG et al. 1971).

### **2.1.3 Population in Menschenhaltung**

#### *2.1.3.1 Geschichte*

Menschen hatten schon immer eine besondere Verbindung zu Elefanten. Während der Eiszeit dienten sie als Nahrungsquelle, später dann als Last-, Arbeits- und Reittiere. Als solche wurden sie auch in Kriegen eingesetzt. So soll z. B. Alexander der Große bei seiner Invasion Nord-West Indiens um 327 vor Christus, auf ein Heer von 4000 Kriegselefanten des Herrschers von Magadha getroffen sein (RATNASINGHE). Auch Hannibal (247-182 vor Christus) nutzte ca. 40 Afrikanische Elefanten, um die Alpen zu überqueren und Rom anzugreifen.

Erste Informationen über gezähmte Elefanten reichen über 4000 Jahre zurück und kommen aus der Indus Zivilisation, in der sie als heilige Tiere verehrt wurden (CLUTTON-BROCK 1999).

In der heutigen Zeit werden sie vor allem als Arbeitstiere im Holzabbau und Lastentransport genutzt, als Reittiere für Trekkingtouren eingesetzt oder in Zoos gehalten (KRISHNAMURTHY u. WEMMER 1995).

#### *2.1.3.2 Status*

Genaue Angaben über die Anzahl an Elefanten, die von Menschen gehalten werden, sind schwierig zu erhalten. Die Captive Elephants Database der Webseite Absolute Elefant ([www.elephant.se](http://www.elephant.se)) listet 324 Asiatische Elefanten (75 Bullen, 246 Kühe, 3 unbekannt) in Zoos, Zirkussen und Camps weltweit auf. In der älteren Datenbank von 2001 wurden hier allerdings noch 1047 Asiatische Elefanten in 377 Institutionen weltweit gelistet. 88 % dieser Elefanten befanden sich in Amerika oder Europa (CLUBB u. MASON 2002).

Laut der International Species Information System Datenbank (ISIS) werden in Zoos weltweit insgesamt 514 Asiatische Elefanten gehalten (129 Bullen, 385 Kühe). Diese Datenbank benötigt allerdings eine kostenpflichtige Mitgliedschaft und umfasst daher nicht alle Zoos und keine Zirkusse.

Das Europäische Zuchtbuch für Asiatische Elefanten von 2003 (BELTERMAN 2003) listet 298 Tiere (64 Bullen, 234 Kühe) in 92 erfassten, europäischen Institutionen auf.

Wie viele Tiere in Zirkussen gehalten werden, ist noch schwieriger abzuschätzen. Laut einer Dokumentation der European Elephant Group von 1993 lebten zum damaligen Zeitpunkt 150 Elefanten in Deutschland. Davon waren 66 im Besitz von Zirkussen (HAUFELLNER et al. 1993). 1999 setzte sich die im damaligen Zuchtbuch aufgeführte Elefantenpopulation aus 59,7 % Wildfängen, 19,4 % in Gefangenschaft geborenen und 21% aus asiatischen Elefantencamps importierten Tieren zusammen. Seit den 60er Jahren nahmen die Neuzugänge von Wildfängen stark zugunsten von in Gefangenschaft geborenen Elefanten ab (CLUBB u. MASON 2002). Dies ist vermutlich einerseits ein Resultat der 1976 erfolgten Aufnahme der Asiatischen Elefanten in den Appendix I des CITES und andererseits durch die immer häufigeren Zuchterfolge in den Zoos begründet.

Der weitaus größte Teil in Gefangenschaft gehaltener Elefanten befindet sich allerdings in asiatischen Elefantencamps. Schätzungen gehen davon aus, dass dort ca. 19 000 Elefanten gehalten werden (SUKUMAR 1989).

#### *2.1.3.3 Haltungsformen*

Es wird zwischen „free contact“ bzw. „hands on“, „protected contact“ und „no contact“ bzw. „hands off“ unterschieden.

„Free contact“ erlaubt direkten Kontakt des Pflegepersonals mit den Elefanten innerhalb des Geheges und wird von 60,9 % der europäischen Zoos bei Elefantenkühen und von 19,4 % der Zoos bei Bullen eingesetzt (GRIEDE 2000).

In „protected contact“ Haltungen erfolgt Kontakt mit den Elefanten nur von einem den Elefanten nicht zugänglichen Areal aus und nur durch Gitterstäbe oder sonstige Schutzstrukturen hindurch. Diese Haltungsform erfordert ein hohes Maß an Erfahrung der Tierpfleger in Bezug auf das Training der Elefanten (z. B. durch Anwendung von „target training“), da die Tiere für Pflegearbeiten nicht durch Zwangsmaßnahmen festgehalten werden können. In der Studie von GRIEDE (2000) nutzte nur ein Zoo (1,6 %) diese Haltungsform für ihre Kuhherde, während sie von 3 Zoos (9,7 %) für die Bullenhaltung eingesetzt wurde.

„No contact“ erlaubt einen direkten Kontakt mit dem Elefanten nur nach chemischer Immobilisation. Alle fälligen Pflegemaßnahmen müssen daher aus der Distanz erfolgen. 10,9 % (Kuhhaltungen) und 38,7 % (Bullen) der europäischen Zoos betreiben „no contact“ Haltungen (GRIEDE 2000). Viele Zoos nutzten laut dieser Studie allerdings Kombinationen aus den drei obigen Haltungsformen.

In einigen europäischen Ländern sind mittlerweile „free contact“ Haltungen von Elefanten verboten, da sie ein zu großes Verletzungsrisiko für die Tierpfleger darstellen.

#### 2.1.3.4 Gehege

Das europäische Klima erreicht im Winter Temperaturen, die eine reine Außenhaltung von Asiatischen Elefanten nicht erlauben. Um Unterkühlungen oder Erfrierungen zu vermeiden, sind in allen Zoos sowohl Innen- als auch Außenanlagen für die Elefanten zu finden.

Die Ausstattung und Größe der Gehege und die Beschaffenheit des Untergrunds variieren allerdings stark von Zoo zu Zoo. So findet man in älteren innerstädtischen Zoos häufig eher kleine Gehege, da eine wünschenswerte Expansion meist nicht möglich ist. Dennoch haben in den letzten Jahren einige Zoos ihre Elefantenhaltung stark verbessert, indem sie geräumigere Innen- und Außengehege errichtet haben.

Laut den Empfehlungen der European Association of Zoos and Aquaria (EAZA 1997) sollte ein Außengehege für 3 Elefanten mindestens 400 m<sup>2</sup> umfassen. Für jeden weiteren Elefanten vergrößert sich diese empfohlene Fläche um 100 m<sup>2</sup>. Wie viele der Zoos diesen Empfehlungen entsprechen, ist schwer zu sagen, da es dazu kaum Untersuchungen gibt. TAYLOR u. POOLE (1998) untersuchten 20 europäische und nordamerikanische Zoos und fanden eine Bandbreite von 17 – 6937 m<sup>2</sup> pro Elefant zur Verfügung stehender Fläche vor.

Innengehege sollten laut EAZA eine Größe von mindestens 150 m<sup>2</sup> für drei Kühe und 45 m<sup>2</sup> pro Bulle besitzen. Außerdem sollte die Temperatur in den Innenräumen mindestens 15 °C betragen.

Die Innenräume besitzen häufig Asphalt- oder Betonböden, in Ausnahmefällen auch Gummiböden. SCHMITT (2003) empfiehlt wasserundurchlässigen Boden mit leichtem Gefälle und glatter aber nicht zu glatter Oberfläche. Eine zu raue Oberfläche wirkte sich, durch starke Abrasionen der Sohlen, negativ auf die Fußgesundheit aus. In den Außengehegen ist meist Sand-, Erd-, oder auch Betonboden zu finden. Hier empfiehlt die EAZA im Außenbereich möglichst nur Naturböden zu verwenden. Außerdem sollten Elefanten Zugang zu Sand oder Erde haben, um Staubbäder nehmen zu können. Freier Zugang zu einem Badebecken im Innen- oder Außengehege wird empfohlen. Weiterhin sollte das Gehege den Elefanten Möglichkeiten bieten, sich zu schubbern und zu kratzen, z. B. an Bäumen oder Felsen. ROOCROFT u. OOSTERHUIS (2001) betonen die Wichtigkeit, den Elefanten Schlamm- und Sandbäder, Schubbermöglichkeiten und Zugang zu Wasser zu bieten, um dem natürlichen Selbstpflegebedarf der Elefanten zu entsprechen. Insbesondere das Graben von Löchern mit ihren Vorderfüßen säubert die Zehenzwischenräume und schilfert alte Horn- und Hautschichten ab. SCHWAMMER (2001) empfiehlt Flusssand als ideales Bodenmaterial. Industriesand ist durch die mechanische Aufsplitterung der Steine zu scharfkantig.

Auch sollte für eine Beschäftigung der Elefanten gesorgt werden. Dies kann durch Gruppenhaltung, mit z. B. Jungtieren, durch Trainingsprogramme von Seiten der



Pfleger, durch im Gehege befindliche Spielgegenstände (angekettete Reifen, Plastiktonnen) oder durch Futterbeschäftigungsmaßnahmen gewährleistet werden (MIKOTA 1994).

#### *2.1.3.5 Ernährung*

Elefanten sind monogastrische Dickdarmverdauung mit einem Verdauungssystem, welches dem des Pferdes stark ähnelt. Allerdings ist die Passagerate der Ingesta durch den Verdauungstrakt beim Elefanten wesentlich höher als beim Pferd, was in einer geringeren Effektivität der Verdauung resultiert (CLAUSS et al. 2003).

Ein großes Problem der Elefantenhaltung ist die meist nicht ausreichende Bewegung, was häufig zu adipösen Tieren führt (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001). Diesem Problem muss auch bei der Zusammenstellung des Futters Rechnung getragen werden. Nach einer Untersuchung in nordamerikanischen Zoos scheinen die meisten dortigen Zoos keine adäquate Ernährung der Elefanten zu gewährleisten (ANGE et al. 2001). Außerdem wurden viele Elefanten als deutlich übergewichtig befunden. Eine Untersuchung der International Zoo Veterinary Group in 18 irischen und britischen Zoos kam zu dem Ergebnis, dass die dortigen Fütterungsprogramme in den meisten Fällen zufriedenstellend sind (STEVENSON u. WALTER 2006).

Es scheint aber generell starke Schwankungen in der Menge des angebotenen Futters zu geben. ROEHRS et al. (1989) veranschlagten eine Futtermenge von 1,4 – 1,6 % des Körpergewichts für Afrikanische Elefanten.

Das Futter sollte sich nach RÜEDI (1995) aus einem großem Raufaseranteil (Heu, Gras oder Futterstroh), kombiniert mit Ästen oder Zweigen und zusätzlich Obst, Rübenschnitzel, Weizen-Gerstegemisch und einem Vitamin-/Mineralzusatz zusammensetzen.

Die Fütterung der Elefanten geschieht meist durch das Pflegepersonal, da in kaum einem Zoo die Möglichkeit zum Grasens besteht. Dies war der Fall in 90 % der von TAYLOR u. POOLE (1998) untersuchten Zoos. Der Vorteil der Fütterung durch das Personal ist die Möglichkeit, jedem Elefanten eine individuelle Diät zukommen zu lassen. Nachteilig wirken sich hierbei allerdings ein größerer Arbeitsaufwand und eine geringere Beschäftigung der Elefanten aus. Um ein Mindestmaß an Beschäftigung durch die Futteraufnahme zu gewährleisten, sollten Elefanten daher mehrmals täglich mit kleineren Portionen gefüttert werden.



## 2.2 Fußgesundheit

### 2.2.1 Anatomie des Elefantenfußes

#### 2.2.1.1 Allgemeines

Die Füße der Elefanten stehen, bedingt durch das hohe Körpergewicht der Tiere, unter enormen Belastungen und weisen deshalb eine einzigartige Anatomie auf. FOWLER (2001) berechnete für einen 6,6 t schweren, Afrikanischen Bullen eine Belastung jeder Gliedmaße mit 1650 kg und einem, auf die Sohlenfläche umgerechneten Druck, von 12,99 PSI. In Bewegung erhöht sich die Belastung enorm, sodass bei einem schnell laufenden Elefanten dieser Größe eine Druckbelastung von bis zu 3300 kg pro Fuß auftreten kann (FOWLER 2001). Dies sind allerdings rein theoretische Werte, denen keine direkten Druckmessungen zugrunde liegen. Sie veranschaulichen dennoch sehr gut, welchen Beanspruchungen ein Elefantenfuß ausgesetzt ist.

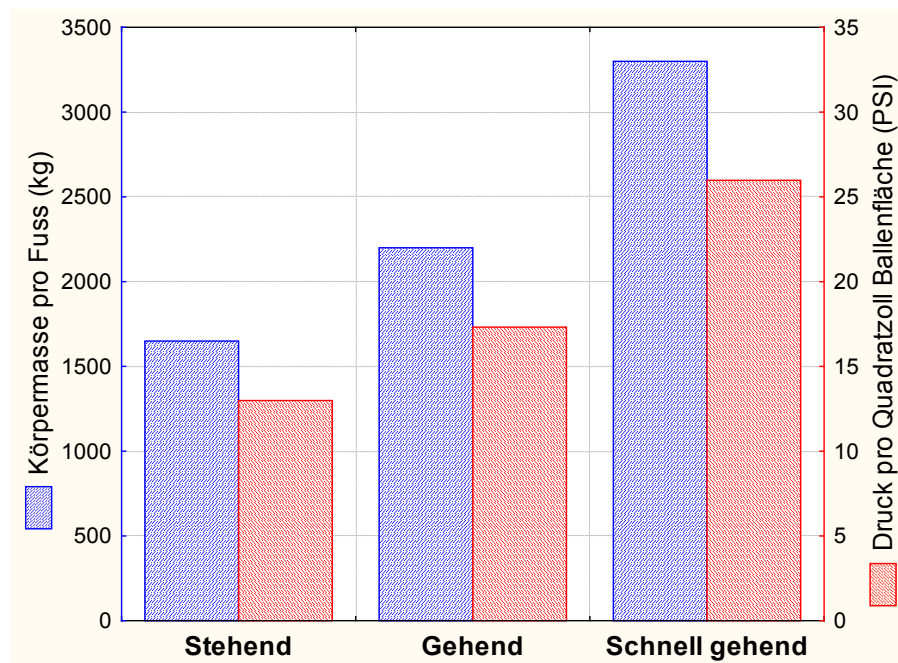


Abb.1: Körpermassen- und Druckbelastung eines Elefantenfußes in verschiedenen Gangarten nach Fowler (2001)

#### 2.2.1.2 Knöchernes Grundgerüst

Elefanten gehören zur Gruppe der Subungulaten. Sie sind semidigitigrad auf den Vorderfüßen und semiplantigrad auf den Hinterfüßen (MIKOTA 1994). Sie besitzen fünf Zehennägel an den Vorder- und vier an den Hinterfüßen, welche in Form eines Halbkreises an der dorsalen Fußseite sitzen und in Form und Größe variieren. Die Nägel II, III und IV sind am stärksten und der medial an den Vorderfüßen liegende

Nagel I am geringsten ausgeprägt.

Jeder Nagel des Vorderfußes ist über Bindegewebsschichten, dem Corium stratum reticulare und dem Corium stratum papillare, mit seiner korrespondierenden Phalanx distalis bzw. medialis verbunden (FOWLER 2001, BENZ 2005). Zehe I und V des Vorderfußes bestehen aus nur zwei Phalangen (proximalis und medialis), während die Zehen II, III, und IV zusätzlich eine dritte Phalanx distalis aufweisen. Bis auf Zehe I, mit nur einem Sesambein, besitzen alle Zehen gepaarte Sesambeine (RAMSAY u. HENRY 2001).

Zehe I des Hinterfußes weist nur eine Phalanx proximalis ohne Sesambein auf, welcher auch keinen korrespondierenden Zehennagel besitzt (MARIAPPA 1986).

Zehe II – V stehen, wie an den Vorderfüßen, über bindegewebige Strukturen mit ihren Zehennägeln in Verbindung und weisen drei Phalangen und gepaarte Sesambeine auf, bis auf Zehe V mit nur zwei Phalangen.

Der Metakarpus bzw. -tarsus besteht sowohl in den Vorder- als auch den Hinterfüßen aus fünf Knochen, die sich in ihrer Stellung zu und ihrer Verbindung mit den vier distalen Karpal- bzw. Tarsalknochen von denen anderer Huftiere unterscheiden und kaum eine Spreizung des Karpus bzw. Tarsus erlauben (MARIAPPA 1986).

Proximal der vier distalen Karpalknochen befindet sich an den Vorderbeinen eine zweite Reihe, zum Karpalgelenk gehörender, vier Knochen - dem Carpus radialis, Carpus ulnaris, Carpus intermedialis und dem Carpus accessorius (SMUTS u. BEZUIDENHOUT 1993). In der Hintergliedmaße befindet sich proximal der vier distalen Tarsalknochen der zentrale Tarsalknochen, welcher wiederum proximal an den Talus und den Calcaneus grenzt. Eine Besonderheit beim Elefanten ist der Prehallux – eine knorpelige Struktur, die vom Metatarsal- und Tarsalknochen I distal mit dem Ballen eine Verbindung aufbaut und anscheinend eine Stabilisierung des Tarsus über dem Zehenkissen erreicht (SMUTS u. BEZUIDENHOUT 1994).

#### *2.2.1.3 Fußunterseite*

Die Kontaktfläche des Fußes mit dem Boden wird häufig im Gesamten als Sohle bezeichnet. Allerdings zeigen neuere Untersuchungen (BENZ 2005), dass deutliche histologische Unterschiede zwischen der nur an der Fußspitze vorhandenen Sohle und dem Großteil der Fußunterseite, dem Ballen, bestehen, welche eine getrennte Bezeichnung dieser Bereiche erforderlich machen sollte. Benz definiert die Sohle als den Bereich, in dem die Lederhaut direkt dem Periost der Phalanx aufliegt und keine abfedernde Subkutis mit Zehenkissen besteht, wie dies beim Ballen der Fall ist. Allerdings lässt sich dieser Unterschied makroskopisch, von palmar bzw. plantar betrachtet, nur schwer erkennen (SEILKOPF 1959).

Der Ballen besteht aus einer relativ dicken Epidermisschicht und einer Hornschicht, welche bei in Gefangenschaft gehaltenen Elefanten deutlich dünner ist als bei

wildlebenden Tieren. Dies könnte auf Haltungsprobleme in den Zoos deuten und eventuell einen Teil der häufigen Fußprobleme erklären (BENZ 2005).

Das Zehenkissen, welches eine wichtige Pufferfunktion für das hohe Gewicht des Elefanten übernimmt, besitzt einen je nach Ballenregion unterschiedlichen Aufbau. BENZ (2005) untersuchte drei Regionen, apikal, mittig und palmar bzw. plantar am Ballen. Grundsätzlich besteht das Zehenkissen aus Fettpolstern, die von Bindegewebsstrukturen umfasst werden. Es gibt allerdings Unterschiede je nach Lokalisation am Ballen. Apikal besteht das Kissen aus deutlich mehr Fettgewebe mit nur einigen Bindegewebsstreifen. Mittig des Ballens halten sich Fett- und Bindegewebe die Waage und palmar bzw. plantar sind die verhältnismäßig wenigen Fettinseln klar in starke Bindegewebsgerüste gepackt, welche teilweise säulenartige Strukturen aufweisen. Benz vermutet, dass die von apikal nach palmar bzw. plantar größer werdende Entfernung zum knöchernen Fußskelett eine höhere Stabilität des Zehenkissens durch vermehrte Bindegewebeinlagerungen bedingt. Ein untersuchter Jungelefant zeigte deutlich weniger Fettgewebe im Zehenkissen, was auf eine erst später erfolgende Bildung dieser Fettinseln hinweisen könnte. Außerdem zeigten die Füße Asiatischer Elefanten verhältnismäßig mehr Bindegewebe im Zehenkissen, als dies bei den untersuchten Füßen Afrikanischer Elefanten der Fall war. Dies könnte eine verminderte Abfederung hoher Körpergewichte bei Asiatischen Elefanten bedeuten (BENZ 2005).

#### *2.2.1.4 Der Huf im Nagelbereich*

Den proximalen Abschluss der Hufstrukturen bildet das Perioplum oder Saumhorn, welches proximal des Hufhornes und des Kronsaumes liegt, und dort eine Falte bildet. Das hier gebildete Horn ist nicht Bestandteil der lasttragenden Hufhornwand und häufig pigmentiert.

Distal beginnt der Kronsaum, welcher das härteste Horn des Hufes besitzt, und in einer Länge von ca. 2 cm halbkreisförmig der Hufhornwand angrenzt. Die Hufhornwand, die zusammen mit dem Kronsaum den lasttragenden Teil des Hufes ausmacht, besteht aus Blättchenhorn und distal aus Terminalhorn. An der Nagelunterseite ist die Hornwand ca. 1 -1,5 cm dick und stellt, im Bereich der weißen Linie, die Verbindung zwischen Kronsaum und Sohle her (BENZ 2005).

## **2.2.2 Häufigkeit und Arten von Fußerkrankungen**

### *2.2.2.1 Hintergrund*

Die Problematik der häufigen Fußerkrankungen von Asiatischen Elefanten ist schon seit langer Zeit in ihren Ursprungsgebieten bekannt. 1841 beschreibt der Brite

Gilchrist zwei typische Erkrankungen und empfiehlt eine stark an die traditionelle Medizin der Mahouts angelehnte Therapie der Wahl (GILCHRIST 1841, LAHIRI-CHOUDHURY 2001). Auch nachfolgende Arbeiten basierten häufig auf den jahrhundertelangen Erfahrungen der Mahouts und beschrieben immer detaillierter die häufigsten Krankheiten und ihre vermuteten Ursachen. STEEL (1885) urteilt, dass Erkrankungen der Füße häufig auftreten und oft von schwerer Natur sind. Die Arbeit von EVANS (1910) aus dem Jahre 1910, die stark auf Steels Erkenntnissen beruht, wird, laut LAHIRI-CHOUDHURY (2001), auch heute noch von Veterinären in Indien genutzt.

In neuerer Zeit war es SCHMIDT (1986), der feststellte, dass die Elefantenfüße die mit Abstand größte Quelle medizinischer Probleme der Elefanten sind.

Nach umfangreichen Untersuchungen in nordamerikanischen Zoos stellte MIKOTA (1994) bei 50 % der untersuchten Elefanten aktuelle oder frühere Fußerkrankungen fest. Außerdem machten diese Erkrankungen 10 % aller medizinischen Befunde bei den Tieren aus.

Unklar ist, inwieweit wild lebende oder in Arbeitscamps gehaltene Elefanten diese Problematik teilen. FOWLER (2001) vermutet, dass Arbeitscampelafanten ähnliche Probleme mit ihren Füßen haben wie die Tiere in den nordamerikanischen Zoos. Er berichtet außerdem, dass zumindest in einem untersuchten Elefantencamp 50 % oder mehr der dortigen Elefanten Fußprobleme hatten (pers. Komm. von FOWLER mit LAHIRI-CHOUDHURY 1989; in FOWLER 2001). Eine Untersuchung von 132 Krankenberichten der von Mahouts gehaltener Elefanten in Sri Lanka zeigte, dass Fußkrankheiten mit 66 % an zweiter Stelle der Krankheitsfälle rangierten. An erster Stelle, in 83 % der Krankenberichte, befanden sich Infestationen der Elefanten mit Magen-Darmwürmern. Am häufigsten wurden bei den Fußerkrankungen granulomatöse Sohlengeschwüre diagnostiziert, welche meist bei Tieren, die über lange Zeit auf harn- und kotgetränktem Boden standen (beispielsweise durch wochenlanges Anbinden am selben Baum), auftraten (JAINUDEEN u. SCHEURMANN 1975).

Dass wildlebende Elefanten seltener von Fußerkrankungen betroffen sind als in Gefangenschaft lebende Tiere, ist wissenschaftlich schwer zu entkräften, da sich Untersuchungen der Wildpopulation naturgemäß als schwierig erweisen. Allerdings erwähnen einige Autoren, dass dies nicht der Fall zu sein scheint und auch wild lebende Elefanten von dieser Problematik betroffen sind (FOWLER 2001, RAJANKUTTY 2004). Nur scheinen diese Elefanten eher an Verletzungen traumatischer Art zu leiden, das heißt Frakturen, Schnittwunden, Verletzungen durch Fallen (FOWLER 2001), während die Problematik in den Zoos häufig haltungs- und pflegebedingt ist und zu folgenden Krankheitsbildern führt:

**Abszesse** an Nagel, Ballen oder der Sohle von Zooelefanten werden relativ häufig beobachtet. WEST (2001) befindet sie als den am häufigsten diagnostizierten Befund. Abszesse können durch vorhergegangene Verletzungen mit Einschleppung infektiöser Keime in tieferes Gewebe entstehen, z. B. durch Eintritt von Steinen, Nägeln oder Dornen (MIKOTA 1994, RAJANKUTTY 2004). Allerdings scheinen viele Abszesse auch ohne diese auslösenden Ereignisse zu entstehen. WEST (2001) vermutet, dass Mikrotraumata des Nagels eine Einschleppung von Keimen erlauben und die Entstehung eines Abszesses mit nekrolytischen Prozessen verursachen.

ROOCROFT u. OOSTERHUIS (2001) sind der Meinung, dass nur die wenigsten Abszesse durch äußere Verletzungen entstehen, sondern sich als sterile Abszesse, aufgrund einer Überbelastung der Nägel und dadurch bedingter Zerstörung der Blutgefäße, mit nachfolgender Abkapselung des toten Gewebes, bilden. Diese sterilen Abszesse bilden erst sekundär einen infizierten Abszess durch Besiedlung mit Keimen nach Ruptur.

Es lassen sich Parallelen zum Rusterholzschens Sohlengeschwür der Rinder ziehen, welches ebenfalls, durch unphysiologische Belastungen der Klaue bedingt, eine Schädigung der hornbildenden Matrix nach sich zieht und dadurch qualitativ minderwertiges, poröses Horn produziert, welches eine Infiltration durch äußere Keime erlaubt (HOFMANN 1992).

Es ist von großer Wichtigkeit, die Behandlung der Abszesse durch Eröffnen, Ausschneiden und Spülen frühestmöglich zu beginnen, da sonst die Gefahr der Einbeziehung tieferliegender Schichten und der Entstehung einer Osteomyelitis besteht (GAGE 2001, WEST 2001). Abszesse treten, nach WEST (2001), mit Abstand am häufigsten an den Vorderfüßen auf, wahrscheinlich bedingt durch die höhere Belastung der Vorderbeine.

**Nagelspalten** sind, parallel zur Ausrichtung der Hornröhrchen verlaufende, in der Hufnagelwand auftretende Risse. Sie können in mannigfaltiger Größe und Tiefe auftreten. Meist entstehen sie an dem Last tragenden Ende der Hufwand und verlängern sich nach proximal, können aber auch von der Kronsaumseite aus entstehen (FOWLER 1978). Am häufigsten sind die Hinterhufe betroffen (WEST 2001). Oberflächliche Nagelspalten verursachen meist keine schwerwiegenden Probleme, sollten aber trotzdem optimal versorgt werden, um einer Vergrößerung der Spalte entgegenzuwirken (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, WEST 2001). Sie wachsen dann innerhalb mehrerer Monate wieder aus. Tiefergehende Spalten können von Keimen besiedelt werden und Entzündungen hervorrufen, die auch zur Bildung von Abszessen führen können.

**Hufkrebs** ist eine vor allem an Ballen und Sohle auftretende Erkrankung, die häufig durch Verbleib von Urin und Fäzes in Rissen oder Horntaschen des Ballens entsteht. Durch die eingeschleppten Bakterien löst sich die Hornstruktur auf, wird durchlässig für weitere Keime und verbreitet einen unangenehm fauligen Geruch (RÜEDI 1995, ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, RAJANKUTTY 2004). Zur Vermeidung der Entstehung dieses Krankheitsbildes wird empfohlen, die Ballenfläche gut gepflegt zu halten, um möglichst eine Taschen- oder Rissbildung im Ballenhorn zu vermeiden. Dies ist nötig, da die Elefanten in Zoos häufig in Kontakt mit ihren Exkrementen kommen. Bei wilden Elefanten wird ein wesentlich gefurchteres, rissigeres Ballenhorn beschrieben. Allerdings können sich diese Elefanten von ihren Ausscheidungen entfernen, so dass der Entstehung von Hufkrebs vorgebeugt wird (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001).

**Arthritiden** der Fuß- und Beingelenke sind ein ebenfalls häufig gestellter Befund (FOWLER 1993). FOWLER (2001) beschreibt rheumatoide, meist mehrere Gelenke betreffende Arthritiden und exsudative Arthritiden. Sie werden oft als mögliche Ursache für entstandene Fußerkrankungen gesehen, da durch die Versteifung eines entzündeten Gelenkes, eine Modifikation des Ganges und der Belastung des Fußes erfolgt und dort Probleme hervorrufen kann (FOWLER 2001, ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, WEST 2001). Die Diagnose einer Arthritis oder einer degenerativen Gelenkerkrankung kann meist nur durch Röntgenaufnahmen gesichert werden.

#### *2.2.2.2 Ursachen*

Die Ursache für die Ausbildung der oben genannten Probleme liegt in den unnatürlichen Haltungsumständen und ist meist ein Zusammenspiel vielfältiger Faktoren, die nachfolgend kurz erläutert werden sollen.

**Beton- und Asphaltböden** sind starr und unnachgiebig, so dass kaum eine Abfederung des Körpergewichts der Elefanten stattfindet (WEST 2001). Außerdem beeinflusst die Struktur der Bodenoberfläche den Fußzustand. Zu raue Böden führen zu starken Abrasionen und einem zu dünnen Ballenhorn, während zu glatte Böden keine Abnutzung des Horns erlauben und eine Rutschgefahr darstellen (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, SCHMITT 2003, STEVENSON u. WALTER 2006). Zusätzlich können sich in den Zwischenräumen des Bodenbelags Keimherde bilden, da diese schlecht gesäubert werden können. Der Boden sollte weiterhin, vor allem in den Innenanlagen, ein gewisses Gefälle aufweisen, damit Urin und Wasser abfließen können und einen trockenen, sauberen Standbereich der Elefanten gewährleisten (STEVENSON u. WALTER 2006). Die Anwendung von Fußbodenheizung



wird kontrovers gesehen. Während einige Zoos der Meinung sind, dass eine Bodenheizung nützlich ist, um eine schnelle Trocknung des Bodens zu erlauben, meinen andere, dass dadurch die Schweißdrüsen an den Füßen der Elefanten beeinträchtigt und Sohlen und Ballenhorn ausgetrocknet werden (SCHWAMMER 2001, HILSBURG persönl. Komm., Frankfurt, 2004). Naturboden sollte zumindest in den Außenanlagen reichlich vorhanden sein, da dieser natürliche Verhaltensweisen, wie Löcher graben oder Sandbäder zu nehmen erlaubt, welche sich positiv auf die Fuß- und Allgemeingesundheit der Tiere auswirken (STEVENSON u. WALTER 2006).

Einer der wesentlichsten Faktoren, der zu einer Vermeidung von Fußproblemen beiträgt, ist ausreichende **Bewegung**. Durch die Bewegung werden die Muskeln, Sehnen und Gelenke trainiert, Nägel abgeschliffen, die Blutzufuhr der Füße angeregt und einer Verfettung der Elefanten vorgebeugt. Auch bei Vorhandensein eines großen Geheges sollten die Elefanten nicht sich selbst überlassen werden, sondern zu aktiver Bewegung angeregt werden. In dieser Hinsicht sind auch Trainingsprogramme oder Führungen der Elefanten durch den Zoo hilfreich. Ein bis zwei Stunden Bewegung pro Tag sollten als Minimum angesehen werden (FOWLER 2001, ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, SCHMITT 2003). Weitere Motivationen für Bewegung sind Herdenhaltung, da die Interaktion der Tiere eine gewisse Aktivität verursacht, ebenso wie eine Haltung mit speziefsremden Tieren (STEVENSON u. WALTER 2006).

Eine zu reichhaltige **Futterzusammenstellung**, gepaart mit mangelnder Bewegung, führt zu einem zu hohen Körpergewicht, welches die Gelenke und die Pufferbereiche des Fußes stark belastet. Eine schlechte Ernährung kann sich in langsam wachsenden Nägeln und Sohlen, minderwertiger Hornqualität, dünnem Ballenhorn oder zu Splitterung neigenden Nägeln auswirken (BUCKLEY 2001). Es wird immer wieder über eine Zugabe von Biotin spekuliert, wie sie bei Pferden und anderen Tieren zur Verbesserung der Hornqualität üblich und erfolgreich ist. Leider gibt es keine wissenschaftlich belastbaren Untersuchungen, die den Einfluss des Biotins auf die Hornqualität der Elefanten zum Thema haben (SADLER 2001).

BENZ (2005) untersuchte die Plasmakonzentration von Biotin bei drei Asiatischen Elefanten ohne zusätzliche Gabe von Biotin und vier Tieren bei denen Biotin über einen längeren Zeitraum gegeben wurde. Die Ergebnisse bestätigten, dass sich eine Biotingabe in einer Plasmakonzentration von über 500 ng/l auswirkt, lassen allerdings keinen Schluss auf einen positiven Beitrag zur Fußgesundheit zu.

Eine regelmäßige **Fußpflege**, die von erfahrenen Pflegern oder Tierärzten

durchgeführt werden sollte, wird von den allermeisten Autoren als Bedingung einer Elefantenhaltung in Zoos angesehen (FOWLER 1993, RÜEDI 1995, ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, SCHMITT 2003, RAJANKUTTY 2004). Ohne diese kommt es z. B. leicht zur Ausbildung überlanger Nägel, welche eine Fehlbelastung der Füße und eine Überbelastung des verlängerten Nagels verursachen. Auch alle anderen oben genannten Fußerkrankungen werden durch eine unterlassene oder unsachgemäße Fußpflege provoziert. Sie sollte eine tägliche Reinigung der Füße und die Kontrolle auf Verletzungen und Auffälligkeiten umfassen, sowie Trimmen und Pflege der Nägel und des Ballens/ der Sohle nach einem festen Schema (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001). Diese Arbeiten werden am zuverlässigsten mit Handwerkzeugen wie Hufmesser und Raspel durchgeführt. Das Bearbeiten der Hufe mit elektrischen Maschinen ist aufgrund der starken Hitzewirkung, der zu schnellen Entfernung von Hufmaterial und der Lärmbelastung nicht empfehlenswert (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001). HUGES u. SOUTHARD (2001) empfehlen dagegen elektrische Maschinen, da diese es ermöglichen, schneller zu arbeiten und daher eine häufigere Fußpflege garantieren. Allerdings erwähnen auch sie, dass eine Gefahr der zu starken Abtragung des Hufmaterials durch Schleifmaschinen besteht.

Von einigen Autoren wird auch eine gewisse **genetische Prädisposition** für schlechte Hornqualität oder Empfänglichkeit für Fußkrankheiten vermutet (FOWLER 2001, SEIDON 2001). Hinweise auf erblich bedingte Fußprobleme zeigten sich auch bei Nashörnern (VON HOUWALD 2001)

## 2.3 Thermografie

### 2.3.1 Allgemeines

Die Erfassung von Körpertemperaturen zu diagnostischen Zwecken hat eine lange Tradition und wurde schon von Hippokrates im 2. Jahrhundert vor Christus genutzt (GAUSSORGUES 1994). Allerdings verging eine lange Zeit, bis genaue Messungen mittels von Fahrenheit und Celsius entwickelter Temperaturskalen im 18. Jahrhundert möglich wurden und der niederländische Mediziner Boerhave das Fieberthermometer in die klinische Routine einführte (GAUSSORGUES 1994, WÖPPEL 2003). Um 1800 entdeckte Herschel die Infrarotstrahlen und 1830 wurde der erste Infrarotdetektor gebaut (GAUSSORGUES 1994). Im 20. Jahrhundert wurden die ersten Infrarotkameras entwickelt und Mitte der 1950er Jahre erstmals von Raymond Lawson zur Untersuchung von Brustkrebs in der Medizin angewandt (BUKSHTEYN 2003).



### 2.3.2 Physikalischer Hintergrund

Die Thermografie befasst sich mit der Darstellung von Wärmeabstrahlung eines Objektes.

Bei Wärmestrahlung handelt es sich um elektromagnetische Wellen, mit Wellenlängen, die größtenteils im Infrarotbereich liegen, d. h. zwischen  $0,75\ \mu\text{m}$  (nahes Infrarot) und  $1000\ \mu\text{m}$  (extremes Infrarot). Dazwischen liegen die Bereiche für mittleres Infrarot ( $3 - 6\ \mu\text{m}$ ) und fernes Infrarot ( $6 - 15\ \mu\text{m}$ ). Das für das menschliche Auge sichtbare Licht umfasst Wellenlängen von ungefähr  $0,4 - 0,7\ \mu\text{m}$  und liegt somit größtenteils außerhalb des Wärmestrahlspektrums.

Wärmestrahlung ist eine Form der Wärmeenergieübertragung, die auch durch Konvektion oder durch Wärmeleitung geschehen kann. Diese Energieübertragung erfolgt in der Regel von Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen höherer thermischer Energie zu solchen mit geringerer thermischer Energie.

Die abgestrahlte Wärmemenge ist proportional zur Oberfläche des Körpers, zur vierten Potenz der absoluten Temperatur und zum Emissionsgrad. Dieser Zusammenhang wird durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschrieben. Der Emissionsgrad ist für jedes Material unterschiedlich und hängt von der Oberflächenbeschaffenheit des strahlenden Materials ab. Er beschreibt die Fähigkeit eines Materials, Infrarotstrahlen zu absorbieren oder abzustrahlen. Hypothetische Körper mit einem Emissionsgrad von 1 sind „ideale Strahler“ oder schwarze Strahler. Je niedriger der Emissionsgrad, desto weniger charakteristisch ist die Wärmestrahlung für die Temperatur des Körpers (TIPLER 1994). Metalle haben oft Emissionsgrade zwischen  $0,1 - 0,6$ , während Haut einen Wert von ca.  $0,98$  besitzt (KARSTÄDT et al. 1998). Bei einer Änderung der Temperatur eines Körpers ändert sich auch die Strahlungsemission. Wenn nun der Emissionsgrad bekannt ist, kann anhand der emittierten Strahlung auf die Oberflächentemperatur des Körpers geschlossen werden.

Wie in Abb. 2 zu erkennen, ist die Wellenlänge am Punkt der maximalen Strahlungsleistung umso kürzer, je höher die Temperatur des strahlenden Körpers ist. Diese Beziehung wird durch das Wien'sche Verschiebungsgesetz für schwarze Strahler beschrieben. Für Körper in

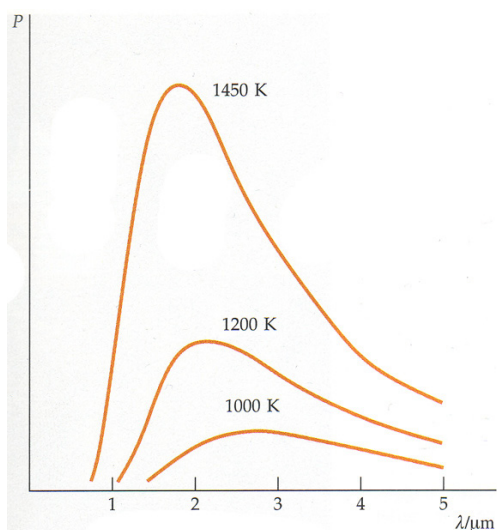


Abb. 2: Strahlungsleistung  $P$  eines schwarzen Strahlers bei drei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der Wellenlänge (aus TIPLER 1994)

Raumtemperatur (ca. 300 K) verschiebt sich das Strahlungsmaximum in den fernen Infrarotbereich bei ca. 9,7  $\mu\text{m}$ , während sich das der Sonne (6000 K) im sichtbaren Spektrum bei 0,5  $\mu\text{m}$  befindet und von uns als gelbes Licht wahrgenommen wird.

### **2.3.3 Funktionsweise einer Thermografiekamera**

Die modernen, passiv gekühlten Thermokameras funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip wie digitale Videokameras. Das Herzstück ist der Infrarotsensor nach Art eines Mikrobolometers, welcher meist aus einem Vanadiumoxid- oder einem amorphen Siliziumgitter besteht und für ein bestimmtes Wellenlängenspektrum sensibel ist. Es sind heutzutage zwei Größen von Infrarotsensoren erhältlich: Hochauflösende Sensorplatten mit 320x240 und halb so große, mit 160x120 Bildpunkten. Über ein Germaniumobjektiv (Glas ist für Infrarotstrahlen nicht durchlässig) wird die eintreffende Infrarotstrahlung auf dem Sensor fokussiert. Dort verursacht sie eine Änderung des elektrischen Widerstandes, welche Sensorpunkt für Sensorpunkt ausgelesen wird und anhand des angegebenen Emissionsgrades in einen Temperaturwert umgerechnet wird (SCHULTZ 2004). Dies ergibt ein Graustufenbild, welches nachträglich digital in ein Farbbild umgewandelt wird, da dies für das menschliche Auge einfacher zu verarbeiten ist. Die verwendete Farbpalette kann je nach Anwendungsgebiet angepasst werden.

Diese Mikrobolometer-Kameras haben gegenüber den älteren Scanner-Kameras den Vorteil einer Bildmessfrequenz von ca. 50 Hz, sodass selbst Videothermoaufnahmen möglich sind.

### **2.3.4 Thermografie in der Humanmedizin**

Die Thermografie macht sich den Umstand zunutze, dass bestimmte physiologische und pathologische Prozesse Wärme produzieren und somit in einigen Fällen über die Messung der Wärmestrahlung der Haut dargestellt werden können. So beeinflussen, z. B. im Falle eines Entzündungsprozesses, die Kardinalsymptome Kalor, Tumor und in manchen Fällen auch Functio laesa das Wärmebild der Haut (HILSBERG 2000).

Ursprünglich wurde die Thermografie vor allem im militärischen Bereich angewendet, aber schnell sahen Mediziner die Möglichkeit, mittels dieser Methode Einblick in physiologische und pathologische Prozesse des Menschen zu bekommen. Eines der häufigsten Einsatzgebiete ist hierbei sicherlich die Brustkrebsuntersuchung.

Lawson nutzte schon 1957 die Thermografie zur Untersuchung von Brustkrebs. Er erkannte, dass die Hauttemperatur über einem Mammatumor höher war,

als über einer gesunden Brust (LAWSON 1957). Im Jahre 1963 beschrieben LAWSON u. CHUGTAI (1963) den Zusammenhang der erhöhten Temperaturen bei Brustkrebs mit dem nachweisbaren Wachstum neuer Blutgefäße und einer erhöhten Metabolismusrate des Tumorgewebes. 1982 erkannte die Food and Drug Administration der USA die thermografische Untersuchung im Rahmen der Brustkrebsdiagnostik als eine genehmigte, zusätzliche Methode an (AMALU 1998). Die Thermografie ist auf diesem Gebiet heute schon lange über das Experimentalstadium hinaus. In den letzten 35 Jahren wurden über 300 000 Frauen thermografisch auf Brustkrebs untersucht und es befassten sich über 800 wissenschaftliche Studien mit diesem Thema (AMALU 1998). Die Sensibilität der Methode wurde in groß angelegten Studien mit Werten zwischen 85-90 % angegeben, während die Spezifität ca. 88 % betrug (HABERMAN et al. 1980, JONES 1983, SCIARRA 1983, NYIRJESY u. AYME 1986). Außerdem besitzt, laut einer weiteren Studie, ein abnormes Brustthermogramm eine Aussagekraft von 96 % in Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit einer späteren Tumorbildung in dieser Brust (NYIRJESY u. AYME 1986). Da die Mammografie laut dieser Studie eine Sensibilität von 80% mit einer Spezifität von 73 % aufwies, empfehlen die Autoren immer eine Kombination aus beiden Methoden zu nutzen, um eine optimale Diagnosesicherheit zu erreichen. Da ihnen grundsätzlich unterschiedliche Techniken zugrunde liegen, kommt es durch die Kombination der Methoden zu einer gegenseitigen sinnvollen Ergänzung der Befunde.

Heute wird, vor allem wegen der Möglichkeit, gefährdete Patienten bis zu 8 -10 Jahre vor Ausbildung eines Mammatumors zu identifizieren und der für den Patienten absolut risikolosen Methodik, der Einsatz der Thermografie immer üblicher (AMALU 1998).

Weitere Anwendungsgebiete in der Humanmedizin sind die Diagnostik bei Schmerzsymptomen, neuronalen und vaskulären Störungen, Rückenproblemen (z. B. Bandscheibenprolaps), rheumatologischen Prozessen oder Arthritiden (HOBBINS 1982, HUBBARD u. HOYT 1986, THOMAS et al. 1990, MACDONALD et al. 1994, YOUNG-SOO et al. 1998, HERRICK u. HUTCHINSON 2004, MING et al. 2005). Durch den rasanten Fortschritt der Thermografiertechnik ist ein stark zunehmendes Interesse an dieser Methode zu registrieren. Im Literaturüberblick der Zeitschrift *Thermology International* wurden für den Zeitraum vom 1.1.2004 bis 31.12.2004 in den Datenbanken von Medline und Embase 2478 Literaturzitate mit thermografierelevanten Stichwörtern gefunden, welches die höchste Zahl seit Erscheinen dieser seit 1999 jährlich erscheinenden Liste ist (AMMER 2005).

### 2.3.5 Thermografie in der Veterinärmedizin

Im Vergleich zur Humanmedizin ist die Anwendung der Thermografie in der Tiermedizin erst wenig verbreitet. Dies mag u. a. an den hohen Preisen eines Thermografiesystems liegen, die bis noch vor wenigen Jahren bei ca. 20 000 – 30 000 Euro lagen.

Mittlerweile sind wesentlich günstigere Systeme erhältlich, die nun auch die Anwendung in der klinischen Praxis ermöglichen. Weiterhin ist eine Anwendung der Thermografie in der Veterinärmedizin problematischer als in der Humanmedizin, da zum einen die Patienten ein mehr oder weniger dichtes und damit Wärme isolierendes Fell besitzen und es zum anderen schwierig sein kann, gleichmäßige Untersuchungsbedingungen zu garantieren, die aber für thermografische Untersuchungen sehr wichtig sind (CLARK u. CENA 1977).

Das sicherlich dominierende Anwendungsgebiet sind diagnostische Untersuchungen an Pferden, insbesondere Lahmheitsuntersuchungen. Erste Untersuchungen zur Anwendung der Infrarottechnik bei der Diagnostik von Erkrankungen des Bewegungsapparates von Pferden wurden 1964 von SMITH (1964) durchgeführt. Eine andere Studie dieser Zeit kam zu dem Schluss, dass die Thermografie zur Diagnostik bei Pferden theoretisch einsetzbar wäre, allerdings am Stand der damaligen Technik scheitern würde, da die Anfertigung eines Thermogramms ca. sechs Minuten dauerte und kein Pferd so lange bewegungslos stehen würde (DELAHANIY u. GEORGI 1965). In einer Studie in den 70er Jahren untersuchte STRÖMBERG (1975) regelmäßig 150 Rennpferde und konnte bei klinisch diagnostizierten Sehnen- oder Knochenläsionen klare Temperaturerhöhungen in den betroffenen Bereichen erkennen. Im Falle von Sehnenverletzungen ließen sich sogar häufig charakteristische Veränderungen des Thermogramms ein bis zwei Wochen vor Auftreten klinischer Symptome beobachten. CLARK u. CENA (1973, 1977) beschrieben Veränderungen des thermischen Bildes aufgrund unterschiedlich dichter Fellstrukturen und den maskierenden Effekt von auffälligen Befunden durch Umgebungsfaktoren, wie Sonneneinstrahlung oder Heizkörper. Diesen Faktoren muss bei der Anfertigung und der Auswertung thermografischer Bilder immer Rechnung getragen werden. In beiden Studien wird auch empfohlen, vergleichende Thermogramme von gesunden, artgleichen Tieren anzufertigen, da dies eine Befundung wesentlich verbessert.

Erste detaillierte, systematische Untersuchungen an Pferdebeinen wurden von PUROHIT u. MCCOY (1980) durchgeführt. Sie untersuchten zuerst sechs Pferde unterschiedlichen Geschlechts, Rasse, Alter und ohne klinische Probleme und erstellten somit Normalbefunde. Die Gliedmaßen wurden von kranial (dorsal), kaudal

(palmar), lateral und medial thermografisch erfasst. Hierbei zeigten sich individuell jeweils leicht unterschiedliche Wärmemuster, die allerdings eher Details betrafen und in den allgemeinen Charakteristika übereinstimmten. Zwischen linkem und rechtem Bein wurden hochgradige Symmetrien gefunden, ebenso wie zwischen Schulter- und Hüftgliedmaßen vom Karpus bzw. Tarsus abwärts. Die wärmste Region war das Kronsaumband, welches 3-5 °C wärmer als die proximal liegenden Gelenke, 1-2 °C wärmer als das mediale Bein distal des Karpus bzw. Tarsus und 2-3 °C wärmer als das laterale Bein war. Nur die Innenseite proximal von Karpus und Tarsus zeigte höhere Wärmeabstrahlung als der Kronsaum. Nach 30 minütiger Belastung veränderte sich das thermografische Bild nur minimal (PUROHIT u. MCCOY 1980).

In einer anschließenden Untersuchung klinischer Fälle, wurde u. a. ein Pferd mit Rehe beschrieben, bei welchem sich erhöhte Temperaturen ober- und unterhalb des Kronsaums zeigten. Weiterhin wurden ein Sohlenabszess durch erhöhte Temperaturen direkt über dem Abszessherd beschrieben und eine Schulterblattfraktur, mit auffälligem thermografischem Befund über dem distalen Drittel des Schulterblattes. Behandlungen von Entzündungsherden mit nicht-steroidalen Antiphlogistika (Phenylbutazon) zeigten eine schnellere Rückkehr zu einem normalen Thermogramm als ohne Behandlung (PUROHIT u. MCCOY 1980).

Auch in einer weiteren Untersuchung zeigte sich die Notwendigkeit der Erstellung von Normalbefunden, um eine vergleichende Befundung vorzunehmen. Hierbei wurden 20 Rennpferde untersucht. Vier der Pferde wurden wegen zu schlechter Rundenzeiten nicht zu Rennen zugelassen, und alle vier zeigten abnorme thermografische Befunde an den Tarsalgelenken, die die Autoren als Zeichen einer beginnenden Osteoarthritis verdächtigten. Sie beschrieben außerdem eine grobe Übereinstimmung aller Wärmemuster mit den größeren Blutgefäßen am Bein (VADEN et al. 1980).

TURNER et al. (1983) untersuchten acht Pferde mit Podotrochlose, welche in Zusammenhang mit Durchblutungsstörungen der distalen Gliedmaße steht, vor und nach Belastung und verglichen die Wärmewerte mit denen von gesunden Pferden. Die Pferde mit Podotrochlose zeigten eine z. T. signifikant geringere Temperaturerhöhung nach Belastung, im Vergleich zu gesunden Pferden nach Belastung. Außerdem stellte Turner fest, dass die Haare der Gliedmaßen zwar die Wärmeabstrahlung reduzieren, allerdings das Wärmemuster nicht verändern. In einer späteren Studie bestätigte Turner die Möglichkeit, anhand eines abnormen thermografischen Bildes eine Sehnenenerkrankung bis zu zwei Wochen vor dem Auftreten klinischer Symptome zu erkennen (TURNER 1991).

Erst in letzter Zeit wurde eine Studie über die Zeitlänge, die Pferde benötigen, um sich an das Klima in den Untersuchungsräumen zu akklimatisieren, durchgeführt (TUNLEY u. HENSON 2004). Hierbei zeigte sich, dass zwar erst nach 40 Minuten alle Regionen des Pferdes ein Temperaturplateau erreichten, aber das Wärmemuster

von Beginn an unverändert bleibt, so dass bei Zeitmangel auch Untersuchungen ohne Akklimatisierung durchgeführt werden könnten.

In einer größeren Studie, die an der Justus-Liebig-Universität in Gießen durchgeführt wurde, waren 36 lahmheitsfreie und 119 lahrende Pferde klinisch und thermografisch untersucht worden. Es fanden sich hochsignifikante Temperaturunterschiede bei Pferden mit Podotrochlose, Pododermatitis und Tendopathien in allen untersuchten Regionen. Bei Hufbeinfrakturen und Arthropathien zeigten sich immer noch signifikante Temperaturunterschiede, während an Rehe oder Periostitis erkrankte Pferde keinen signifikanten Unterschied zeigten (WEIL et al. 1998).

SCHULZE (2004) untersuchte in ihrer Arbeit gezielt die Hufe von 52 kranken und 20 gesunden Pferden. Sie teilte die Hufwand und Sohle in verschiedene Messbereiche ein und verglich die gemessenen Temperaturen der einzelnen Bereiche miteinander. Auch sie stellte bei Abszessen so genannte „hot spots“ fest. Weiterhin beschreibt sie bei an akuter Rehe erkrankten Pferden, Wärmezungen, die an der lateralen und medialen Hufseitenwand auftreten und eine geringere Temperaturdifferenz zwischen Kronsaumregion und proximaler Hufwand zeigen als sie bei gesunden Pferden der Fall ist.

Weitere Studien untersuchten u. a. den Einfluss medikamentöser Nervenblockaden durch Lokalanästhetika auf das Wärmebild des Beines und die Möglichkeit schmerzlindernde Injektionen und Neurektomien bei Sportpferden zu erkennen (VAN HOOGLMOED u. SNYDER 2002, HOLMES et al. 2003).

Der Großteil der Autoren warnt allerdings vor einer unsachgemäßen Anwendung der Thermografie und empfiehlt eine kritische Herangehensweise unter einem Bewusstsein für die Grenzen dieser Technik. Sie sollte, wie alle anderen Diagnostikmethoden nur eine Ergänzung zur üblichen klinischen Untersuchung und schon etablierten Methoden darstellen. Allzu häufig wurde die Thermografie unfachmännisch angewendet und dadurch teilweise mit Scharlatanerie in Zusammenhang gebracht.

### **2.3.6 Thermografie in der Zoo- und Wildtiermedizin**

Die theoretischen Vorzüge der Anwendung der Thermografie wurden auch im zoo- und wildtiermedizinischen Bereich erkannt, bisher aber nur durch verhältnismäßig wenige Untersuchungen überprüft. Grundsätzlich erscheint eine nicht-invasive Diagnosetechnik, die auch aus größerer Entfernung und verhältnismäßig schnell und simpel eingesetzt werden kann, ideal für die Arbeit mit Wild- und Zootieren. Schließlich benötigen bisherige Diagnosetechniken in der Regel eine Fixierung oder Allgemeinanästhesie des Tieres, welches mit hoher Stressbelastung für das Tier



und großem Organisationsaufwand verbunden ist (GÖLTENBOTH u. KLÖS 1995, FOWLER u. MILLER 2003). Allerdings ist es gerade bei der Untersuchung dieser Tiere besonders schwierig, einheitliche Umgebungsbedingungen zu erhalten, die eine Grundlage für reproduzierbare Untersuchungsergebnisse sein sollten.

In der Wildtierbiologie wurden schon einige Untersuchungen zum Thema der Thermoregulation bestimmter Tiere durchgeführt, so z. B. an Guanakos, Füchsen oder Seehunden (DELAMO u. HEATH 1985, KLIR u. HEATH 1992).

In der Veterinärmedizin wurden von EULENBERGER u. KÄMPFER (1994) erste Untersuchungen durchgeführt, u. a. zum Behandlungserfolg eines Elefanten mit einer Nagelbettentzündung. Es zeigten sich einige interessante Anwendungsgebiete, allerdings auch die nur teilweise sinnvolle Anwendung der Thermografie zur Untersuchung poikilothermer Tiere, wie z. B. Echsen und Schildkröten.

Eine größere Studie führte Hilsberg an über 120 verschiedenen Tierarten durch. Sie untersuchte die Tiere im Hinblick auf Thermoregulation und Trächtigkeits- und Entzündungsdiagnostik. Es konnten einige Trächtigkeiten bei Elefanten, Giraffen und Nashörnern thermografisch dokumentiert werden. Hierbei wurde die Wärmeprojektion der der Bauchwand der Mutter anliegenden Frucht beobachtet und es zeigte sich ein hohes Potenzial der Thermografie für Trächtigkeitsdiagnosen bei Zootieren. Auch in der Entzündungsdiagnostik, insbesondere an Elefanten, wurde die Thermografie als eine Erfolg versprechende Methodik beschrieben. So wurden pathologische Wärmeherde über den Gelenken einer Asiatischen Elefantenkuh mit starkem Webverhalten festgestellt. Auch arthrotische Veränderungen der Karpal- und Metakarpalgelenke einer Netzgiraffe waren thermografisch deutlich erkennbar und wurden in einer zwei Wochen später stattfindenden Sektion bestätigt. Durch Traumata entstandene Gelenks-, Muskel- und Sehnenverletzungen Asiatischer und Afrikanischer Elefanten wurden ebenfalls durch Hilsberg beschrieben. Auch wenn diese Beispiele sich als sehr hilfreich bei der Wahl der geeigneten Behandlungsmethoden zeigten, hebt Hilsberg allerdings auch hervor, dass für eine sicherere und verlässlichere Befundung grundlegende Untersuchungen zum physiologischen Wärmebild von Elefanten nötig sind (HILSBERG 2000). Ihre Arbeit liefert einen Überblick über das Potential der Thermografie im Zoo- und Wildtierbereich und zeigt Themen auf, die einer eingehenderen Untersuchung bedürfen. Auch hier sei aber festzuhalten, dass die Thermografie immer nur eine Ergänzung zu weiteren etablierten Diagnosemethoden darstellen sollte.

## **2.4 Druckmessungen**

### **2.4.1 Hintergrund und Einsatz**

Messungen von Druckbelastung und –verteilung mittels stationärer Plattformen, welche durch Widerstandkapazitätsänderungen die Drücke erfassen, werden im Humanbereich in verschiedenen Einsatzgebieten seit den 1980er Jahren durchgeführt, obwohl das Interesse an solchen Untersuchungen und erste Versuche bis in das 19. Jahrhundert reichen (MAREY 1895, NATRUP 2003). Daten über die plantare Druckbelastung können wertvolle Hinweise auf diverse Erkrankungen muskuloskeletärer, neurologischer oder endokrinologischer Genese geben.

Generell muss unterschieden werden zwischen stationären Plattformsystemen, auf die der Patient auftritt und den etwas später entwickelten flexibel einsetzbaren Sensormatten, welche je nach Bedarf in verschiedenen Formen und Sensordichten entwickelt werden und so beispielsweise auch in Schuhe eingelegt werden können.

Vor allem im Problemfeld der häufig mit Diabetes einhergehenden Fußerkrankungen können durch Druckmessungen wichtige Informationen erhalten werden (VEVES et al. 1992, CAVANAGH u. ULBRECHT 1994). Im Laufe der diabetischen Erkrankung können sich Neuropathien, Weichteilveränderungen und Osteoarthropathien ausbilden, welche zu einer lokal erhöhten Druckbelastung und nachfolgender Ulzeration führen können. Eine frühzeitliche Erkennung biomechanischer Veränderungen durch zu hohe plantare Druckspitzenwerte, vor allem im metatarsalen Bereich, ist laut der Amerikanischen Diabetes Vereinigung wesentlich für eine präventive Versorgung des diabetischen Fußes (ADA 2003).

Auch bei arthrotischen Erkrankungen anderer Ursachen können Veränderungen der Druckverteilung wichtige diagnostische Hinweise liefern (MINNS u. CRAXFORD 1984, ORLIN et al. 1997).

Weitere wichtige Einsatzgebiete der Druckverteilungsmessungen sind die Entwicklung von optimalen Prothesen, Schuhen oder Liegen für Dekubituspatienten (HENNIG et al. 1996, NATRUP 2003).

Am Tier wurden diese Techniken bisher nur in wenigen Studien in den letzten Jahren angewandt. Hierbei wurden die stationären Plattformsysteme verschiedener Hersteller eingesetzt, um beispielsweise Aufschluss über die Druckverteilung an den Klauen von Rindern zu erhalten und den Einfluss unterschiedlicher Klauenschnittmethoden auf die Druckverteilung (DISTL et al. 1990, VAN DER TOL et al. 2002, ZEINER et al. 2007).

Bei Zootieren ist dem Autor nur eine Studie über die plantaren Druckentwicklungen bei zwei- und vierbeiniger Fortbewegung von Bonobos bekannt (VEREECKE et al. 2003).



### **3 Tiere, Material und Methoden**

Um eine sicherere, aussagekräftigere Befundung durch die Anwendung der Thermografie bei Fußproblemen Asiatischer Elefanten zu gewährleisten, mussten grundlegende Untersuchungen zum normalen, physiologischen Wärmemuster der Füße durchgeführt werden. Dazu mussten vor allem Tiere ohne Fußprobleme untersucht werden. In einem Zeitraum von 18 Monaten wurden in dieser Studie Zoos in Deutschland, den Niederlanden und England besucht und die dortigen Elefanten thermografisch untersucht.

Von jedem Elefanten wurden die individuellen Daten, inklusive Krankheitsgeschichte aufgenommen. Um eventuelle Zusammenhänge zwischen den Befunden und bestimmten Haltungsfaktoren zu finden, wurden in jedem Zoo Daten über das dortige Haltungssystem gesammelt und dokumentiert. Ausgewählte Zoos wurden mehrmals besucht, um vorherige Messungen zu verifizieren oder einen Krankheitsverlauf zu dokumentieren.

Weiterhin wurden in zwei Zoos erste Messungen zur Druckverteilung unter dem Elefantenfuß mittels einer elektronischen Sensormatte durchgeführt.

Um einen Überblick über die Fußgesundheit von Elefanten in asiatischen Camps zu bekommen, wurden Besuche in thailändischen Trekkingcamps durchgeführt und die Füße der dortigen Elefanten makroskopisch untersucht.

#### **3.1 Besuchte Zoos, untersuchte Tiere und technische Ausrüstung**

##### **3.1.1 Teilnehmende Zoos und untersuchte Tiere**

Von Dezember 2004 bis Mai 2005 wurden 17 europäische Zoos besucht. Die Auswahl der Zoos wurde größtenteils anhand der ISIS-Daten, über die Anzahl der von den Zoos gehaltenen Elefanten getroffen, wobei alle Zoos mit mindestens vier Tieren in Frage kamen. Die Studie beschränkte sich auf Zoos in Deutschland, England und den Niederlanden.

Einige Zoos mit weniger Tieren wurden besucht, weil entweder dortige Tiere mit akuten Fußproblemen eine Untersuchung für nützlich erschienen ließen oder besondere Haltungsbedingungen (beispielsweise spezielles Bodenmaterial) in dem jeweiligen Tiergarten vorlagen. Der Zoo Köln konnte leider nicht an den Untersuchungen teilnehmen, da die dortigen Elefanten zum Zeitpunkt der Studie laut Zoopersonal wegen des neu errichteten Geheges sehr nervös waren. Der Tierpark Berlin konnte ebenso wenig in die Studie aufgenommen werden, da ein Besuch

zwecks Untersuchung der Elefanten leider nicht gestattet wurde. In einigen Zoos wurden wiederholt Untersuchungen durchgeführt. Dies war nötig, um entweder Krankheitsverläufe zu dokumentieren, die Reproduzierbarkeit der Befunde zu untersuchen oder um durch eine Zweituntersuchung auffällige Befunde der ersten Untersuchung zu überprüfen. Insgesamt wurden 94 Asiatische Elefanten untersucht.

Tab. 1: An der Studie teilnehmende Zoos mit Anzahl der untersuchten Tiere

Zoo	Tiere	Bullen	Kühe	Jungtiere < 4a	Anzahl Besuche
Zoo 1	5	1	4		1
Zoo 2	2		2		1
Zoo 3	2		2		2
Zoo 4	5		5		1
Zoo 5	13	1	8	4	1
Zoo 6	11		9	2	1
Zoo 7	9	1	6	2	1
Zoo 8	3		3		1
Zoo 9	4		3	1	2
Zoo 10	6	1	5		1
Zoo 11	6		6		2
Zoo 12	1		1		3
Zoo 13	4		4		1
Zoo 14	6		4	2	1
Zoo 15	4		4		6
Zoo 16	5		5		1
Zoo 17	8	1	5	2	1
<b>Gesamt</b>	<b>94</b>	<b>5</b>	<b>76</b>	<b>13</b>	

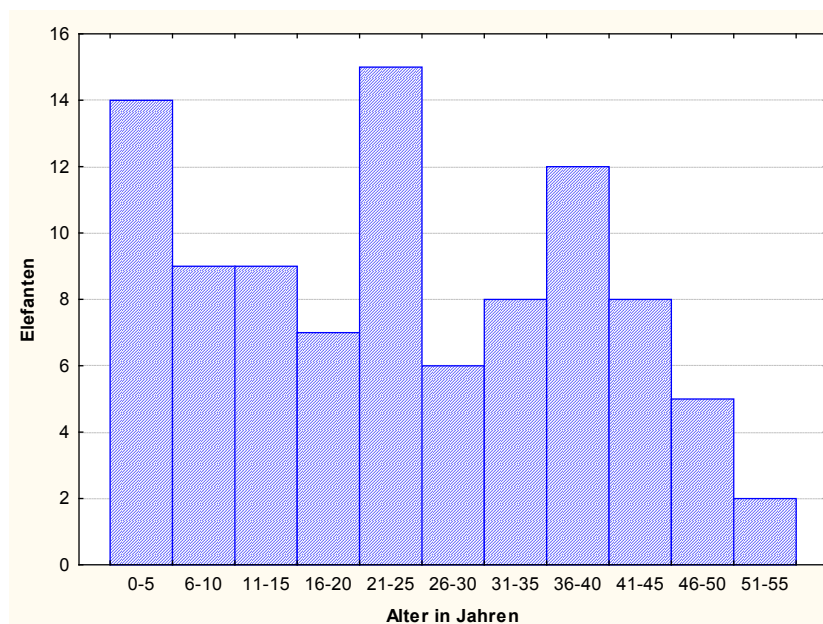


Abb. 3: Altersverteilung der untersuchten Elefanten

Zusätzlich bot sich die Gelegenheit, acht Elefanten in einem Elefantencamp im Norden Thailands bei Mae Hong Son zu untersuchen. Da für diese Untersuchungen leider keine Thermografiekamera zur Verfügung stand, wurden die dortigen Elefanten nur makroskopisch untersucht, die Haltungsbedingungen aufgenommen und fotografische Aufnahmen erstellt.

### 3.1.2 Technische Ausrüstung

#### 3.1.2.1 Thermografiekamera

Für die thermografischen Untersuchungen wurde die Thermografiekamera des Energiereferates der Stadt Frankfurt genutzt. Es handelte sich hierbei um eine PHV 590 der Firma FLIR (früher AGEMA).

Die Kamera weist folgende Spezifikationen auf:

AGEMA PHV 590	
Meßbereich:	-20°C - 500°C
Meßgenauigkeit:	± 2°C
Thermische Empfindlichkeit:	< 0,1°C
Detektor:	Focal Plane Array (FPA)
Detektorauflösung:	320 x 240
Spektralbereich:	7,5µm - 13µm
Sucher:	Farb-LCD
Objektiv:	24° x 18°

Tab 2: Technische Daten der genutzten Thermografiekamera

Die Bilder werden bei dieser Kamera in Echtzeit auf dem Sucher dargestellt und können auf Knopfdruck eingefroren und anschließend gespeichert werden. Als Speichermedium wird eine PCMCIA-Speicherkarte verwendet, wie sie auch in handelsüblichen Notebooks eingesetzt werden kann. Die Bilder werden in einem speziellen Dateiformat gespeichert, welches alle Temperaturdaten des aufgenommenen Bildes enthält. Somit sind Änderungen an der Temperaturskala eines jeden Bildes auch im Nachhinein noch möglich. Auch die Umgebungsparameter, wie Luftfeuchte oder Raumtemperatur, können später eingegeben werden.

Die Kamera verfügt über einen Anschluss für ein Headset. Damit ist es möglich, vor einer Bildspeicherung, einen Audiokommentar zu dem Bild aufzunehmen, welches dann zusammen mit dem Bild abgespeichert wird. Diese Funktion erwies sich als ungemein nützlich, da es sonst bei der großen Menge von angefertigten Bildern pro Elefant, leicht zu einer Verwechslung einzelner Aufnahmen hätte kommen können.

#### 3.1.2.2 Fotokamera

Es erschien sinnvoll, für jeden Blickwinkel sowohl Thermobilder als auch

herkömmliche fotografische Bilder anzufertigen. Nur durch eine kombinierte Betrachtung sowohl der Thermobilder als auch der fotografischen Aufnahmen, können bestimmte Befunde, die z. B. durch Nässe oder Schmutz am Elefantenfuß hervorgerufen werden, erkannt und identifiziert werden.

Hierfür wurde eine digitale Spiegelreflexkamera verwendet. Die Kamera Nikon D70 besitzt einen 6 Mio. Pixel Bildsensor, so dass später auch ausreichende Detailvergrößerungen möglich waren. Der Auslöser der Kamera arbeitet praktisch ohne Auslöseverzögerung und die Bilder werden auf einer Compactflash Speicherkarte im JPG oder RAW Format gespeichert. Alle Aufnahmen wurden mit maximaler Auflösung und minimaler Kompression im JPG Format gespeichert.

Als Objektiv wurde ein Nikon DX Nikkor mit einer Brennweite von 18-70mm verwendet.

#### 3.1.2.3 Notebook

Um auffällige Befunde direkt vor Ort feststellen und dadurch eventuell weitere Untersuchungen durchführen zu können oder direkt mit dem Zoopersonal zu besprechen, erwies sich ein Betrachten der Bilder auf einem Notebook direkt nach der Untersuchung als sehr sinnvoll.

Dafür wurde ein ASUS M2400N verwendet. Es verfügte sowohl über eine PCMCIA Schnittstelle für die Speicherkarte der Thermokamera, als auch über einen Adapter für die Compactflash Speicherkarten der Digitalkamera.

#### 3.1.2.4 Sensormatte

Um Auskünfte über die Druckverteilung unter einem Elefantenfuß zu erhalten, wurde eine spezielle Sensormatte der Gesellschaft für Biomechanik Münster mbH verwendet. Freundlicherweise erlaubte die Firma Testuntersuchungen mit dieser Matte im Zoo Münster durchzuführen. Auch die Untersuchungen im Zoo Leipzig wurden mit dieser Matte getätigt.

Die Matte besteht aus einem Sensornetz mit 496 Sensoren, die in einen flexiblen Stoffüberzug eingearbeitet



Abb. 4: Sensornetz der Messmatte

sind und matrixartig miteinander verknüpft sind (Abb. 4). Jeder Sensor reagiert bei Druckausübung mit einer elektrischen Potentialänderung, welche in einem externen Messgerät registriert wird. Von dort werden die Druckdaten an ein Notebook

gesendet, an dem über eine spezielle Software ein Bild der Druckverteilung über der Sensormatte dargestellt wird. Die unterschiedlichen Drücke werden, ähnlich der Thermobilder, durch verschiedene Farben dargestellt.

#### *3.1.2.5 Sensormattenattrappe*

Zum Trainieren der Elefanten an die Prozedur der Fußdruckmessung wurden den Pflegerteams der beiden Zoos zwei Wochen vor der Untersuchung eine Attrappe zugeschickt, welche optisch der echten Sensormatte ähnelte, aber keinen finanziellen Verlust bedeutete, falls sie zerstört wird.

Die Matte bestand aus einem blauen, 80x80cm großem Kissenbezug und einem eingenähten dicken Computerkabel.

#### *3.1.2.6 Software*

Die Thermobilder wurden mit dem ThermoCam Reporter 2000 der Firma FLIR in Berichten zusammengefasst und ausgewertet. Diese Software verfügt über diverse Messfunktionen, um die Thermografien zu analysieren und spezifische Temperaturdaten zu erfassen. So können einzelne Punkte des Objektes oder rechteckige, runde oder polygonale Flächen auf Temperatur, Durchschnitts-, Maximal-, und Minimaltemperaturen untersucht werden. Jedem Thermobild kann hier auch das korrespondierende Digitalbild hinzugefügt werden, so dass eine vergleichende Betrachtung beider Aufnahmen möglich ist.

Ein Thermobild besteht aus einer kombinierten Temperatur-Farbskala und der eigentlichen thermografischen Abbildung. Jedem Bildpunkt des Thermobildes wird aufgrund seiner errechneten Objekttemperatur mittels der Temperatur-Farbskala eine spezielle Farbe zugeordnet. Alle Temperaturen, die in dem Thermobild vorkommen, sich aber außerhalb der festgelegten Temperaturskala befinden, werden entweder schwarz (bei zu niedrigen Temperaturen) oder weiß (bei zu hohen Temperaturen) dargestellt. Die Temperaturskala kann in ihrer Spanne frei gewählt werden und verteilt auf ihrer ganzen Länge das komplette Spektrum der gewählten Farbpalette. Es stehen verschiedene Farbpaletten, die für unterschiedliche Anwendungsgebiete eingesetzt werden können, zur Auswahl. In dieser Arbeit wird eine feinauflösende Regenbogenskala verwendet. Sie verläuft von schwarz, am unteren Ende der Temperaturskala, über violett, blau, hellblau, grün, gelb, rot bis weiß, am oberen Ende der Skala. Je geringer die Spanne der Temperaturskala gewählt wird, desto deutlicher werden geringe Temperaturunterschiede innerhalb dieser Temperaturspanne dargestellt. Allerdings befinden sich dadurch umso mehr Temperaturwerte außerhalb der Skala und werden schwarz oder weiß kodiert. Für Übersichtsaufnahmen eines ganzen Tieres sind Skalen mit einer größeren Spannbreite wesentlich sinnvoller, während für Detailaufnahmen einer bestimmten Region eine abgestimmte, kleinere

Skala eine bessere Befundung zulässt.

Da sich die allermeisten Aufnahmen dieser Arbeit auf die Entzündungsdiagnostik an einem bestimmten Körperteil beschränken, erleichterte dies die Wahl einer optimalen Skala. Für alle Bilder desselben Elefanten wurde jeweils die gleiche Skala genutzt, da nur so eine vergleichende Betrachtung der einzelnen Aufnahmen möglich ist. Wenn möglich wurde diese Skala auch für alle anderen Elefanten desselben Zoos angewendet. Meist wurde eine Spannbreite von ca. 13 °C eingestellt. Die Maximal- und Minimaltemperaturen mussten an die jeweiligen Umgebungsbedingungen angepasst werden. Der Emissionsgrad wurde auf 0,97 eingestellt.

Die angefertigten Berichte konnten anschließend mit dem frei verfügbaren ThermaCam Reportviewer von weiteren Personen betrachtet, aber nicht verändert werden.

Die Fragebögen zur Erfassung der Haltungsdaten und der individuellen Daten jedes Elefanten wurden mit dem Datenbankprogramm Filemaker 7.0 erstellt und ausgewertet.

Die statistischen Auswertungen wurden mit „R“ durchgeführt.

#### *3.1.2.7 Sonstige Ausrüstung*

Zur Erfassung der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit im Untersuchungsraum wurde eine handelsübliche, tragbare Wetterstation verwendet.

Damit das Risiko einer Verschleppung von Keimen minimiert werden konnte, wurden vor Betreten aller Elefantenräumlichkeiten Einweg-Schutzüberschuhe angelegt, welche anschließend im Zoo entsorgt wurden.

## **3.2 Thermografische Untersuchung**

### **3.2.1 Vorbereitung**

Eine wichtige Voraussetzung, um miteinander vergleichbare thermografische Aufnahmen zu erhalten, sind möglichst identische Umgebungsbedingungen bei jeder Untersuchung (CLARK u. CENA 1977). Dies ist bei Besuchen in verschiedenen Zoos mit ihren immer unterschiedlichen Räumlichkeiten, Wetterbedingungen und Arbeitsabläufen nie in dem Maße zu erreichen, wie es z. B. bei Untersuchungen von Pferden in einem ständig gleich temperierten Klinikraum möglich wäre.

Um dennoch einen gewissen Untersuchungsstandard einzuhalten, mussten folgende Voraussetzungen erfüllt sein:



- Alle Regeluntersuchungen wurden morgens bzw. vormittags durchgeführt. Dadurch wurde einer Veränderung des thermografischen Bildes durch die tagsüber manchmal stark unterschiedlichen Aktivitäts- und Bewegungsmuster der einzelnen Elefanten vorgebeugt. Außerdem sind die Umgebungstemperaturen morgens noch nicht so hoch wie am späteren Tag, was sich positiv auf die Bildqualität auswirkt.
- Alle Elefanten wurden in den Innenräumen untersucht. Dadurch wurden äußere Einflüsse durch das Wetter, wie Windstärke, Regen oder direkte Sonneneinstrahlung minimiert. Hautpartien die unter dem Wärmeeinfluss direkter Sonneneinstrahlung standen, benötigen eine sehr lange Zeit um wieder eine Normaltemperatur auszubilden.
- Die Tiere mussten sich mindestens seit einer Stunde in den Innenräumen aufgehalten haben, um sich zu akklimatisieren (TUNLEY u. HENSON 2004).
- Die Pfleger wurden angewiesen, die Elefanten vor der Untersuchung nicht feucht zu waschen und nur grob zu reinigen. Feuchtigkeit würde das Wärmemuster verändern. Grober Schmutz, wie Strohreste oder Schlammkrusten, musste allerdings beseitigt werden, da er die Wärmeabstrahlung in diesen Bereichen verhindern und somit eine thermografische Aufnahme wertlos machen würde.
- Am Tag der Untersuchung sollte keine Fußpflege durchgeführt werden, da diese Manipulationen eine unnatürliche Erwärmung des Fußes nach sich ziehen könnte.
- Eine Wetterstation wurde am Untersuchungstag in den Innenräumen aufgestellt und die Thermokamera auf die gemessenen Temperatur- und Luftfeuchtheitswerte eingestellt.
- Die Thermografiekamera wurde zusätzlich mindestens 15 Minuten vor der ersten Untersuchung in Betrieb genommen, damit eine konstante Betriebstemperatur des Gerätes garantiert werden konnte (FLIR, persönliche Kommunikation, Frankfurt 2004).
- Die Tiere wurden aus Sicherheitsgründen immer im Beisein von ein bis zwei Pflegern untersucht.
- Soweit möglich wurden die rechtsseitigen Beine jedes zu untersuchenden Elefanten mit Kreide unterhalb des Karpalgelenkes markiert. Dies erleichterte später die richtige Zuordnung der Digitalfotos, bei denen leider keine Sprachkommentare, wie bei den

Thermoaufnahmen, aufgenommen werden konnten. Eine Kreidemarkierung auf dem Foto bedeutete somit automatisch, dass es entweder der rechte Vorder- oder Hinterfuß sein musste, welche gut voneinander zu unterscheiden sind.

### **3.2.2 Untersuchungsschema**

Da bei jedem Elefant ein Minimum von zwölf Aufnahmen nötig war, bestand die Gefahr, einzelne Aufnahmen versehentlich zu überspringen oder komplette Gliedmaßen zu übergehen.

Alle Regeluntersuchungen wurden daher nach einem festen Untersuchungsschema durchgeführt: Es wurden von jedem Fuß mindestens von kranial, lateral und medial bis über das Karpalgelenk Aufnahmen gemacht. Je nach zur Verfügung stehender Zeit und Ruhe des Tieres wurden noch Aufnahmen der lateralen Beinseiten bis zum Schulter- bzw. Hüftgelenk, der Sohlen- sowie Ballenfläche und der kaudalen Fußseite erstellt. Die Hinterbeine konnten aus Sicherheitsgründen nicht direkt von kranial aufgenommen werden, daher wurde hier ein leicht kraniolateraler Blickwinkel gewählt.

Im Folgenden wird eine verkürzte Bezeichnung für die Beine und Blickwinkel verwendet:

Die Beine werden als VL (Vorn links), VR (Vorn rechts), HL (Hinten links) und HR (Hinten rechts) bezeichnet und die Zehen mit Ziffern von 1. bis 5. durchnummeriert. Ein Bild des vierten Nagels des vorderen linken Fußes von lateral, würde somit als „VL 4. lateral“ abgekürzt.

Um die häufig nervösen Tiere nicht übermäßig zu beunruhigen, wurde versucht, alle erforderlichen Aufnahmen während einer einzigen Umrundung des Tieres anzufertigen (siehe Abb. 5). Die Thermobilder wurden dabei möglichst aus einer Distanz von 1,5 m und einer Höhe von ca. 80 cm aufgenommen. Zeitnah zu jedem Thermobild wurde aus demselben Blickwinkel ein Digitalfoto aufgenommen. Während jeder Thermoaufnahme wurde ein Sprachkommentar aufgezeichnet, welcher den Namen des Tieres, den aufgenommenen Fuß und den Blickwinkel enthielt, sowie eventuell zu beachtende Besonderheiten, wie beispielsweise Schmutzauflagerungen, bekannte Verletzungen oder eine unnatürliche Stellung.

Bei sofort ersichtlichen Befunden wurden Detailaufnahmen angefertigt. Bei „protected“ oder „no contact“ Haltungen wurde versucht, durch die Absperrung hindurch die geeigneten Bilder zu erstellen. Eine vollständige Untersuchung dauerte nach diesem Schema meist zwischen 10 – 12 min.



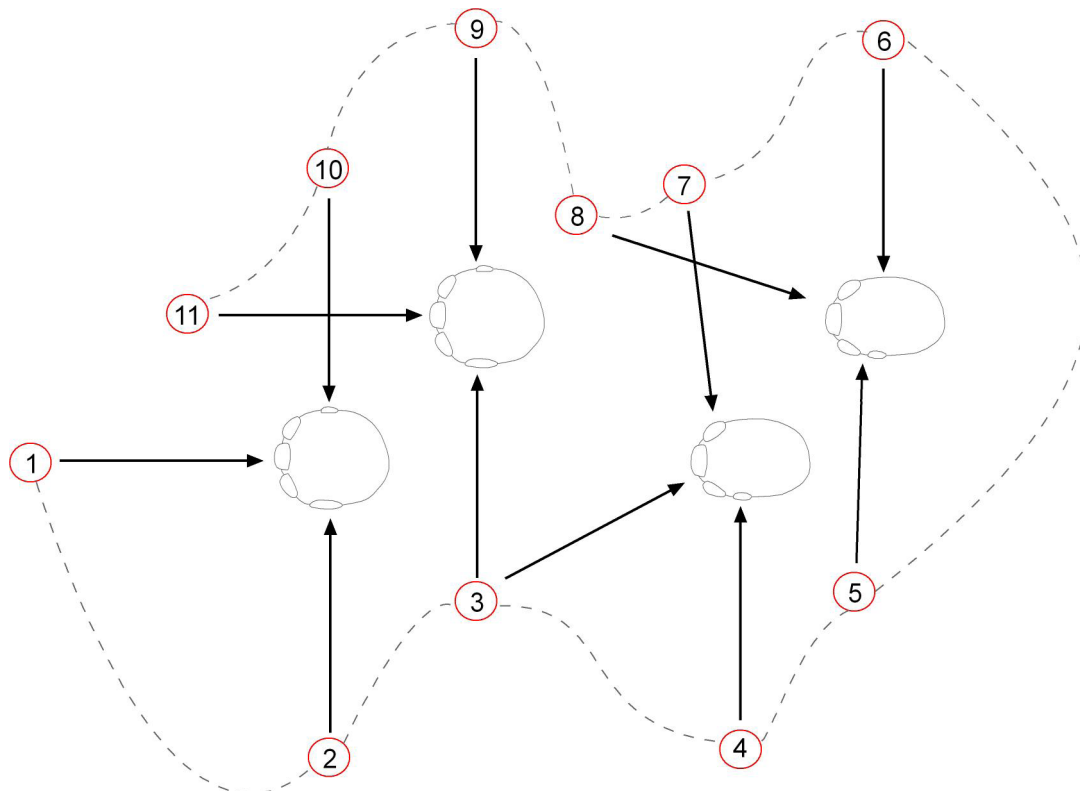


Abb. 5: Schema des Untersuchungsablaufs. Die Pfeile repräsentieren die Blickwinkel der einzelnen Thermoaufnahmen.

### 3.2.3 Verarbeitung und Auswertung der Thermobilder

Direkt nach jedem Zoobesuch wurden die erstellten Thermobilder mittels der Software in Berichten zusammengefasst und ausgewertet. Auf jeder Seite dieser Berichte wurden zwei Thermobilder mit den dazugehörigen Fotografien und Bilddaten abgebildet.

Da es für Diagnosezwecke am sinnvollsten ist, eine thermografische Aufnahme mit der Aufnahme des korrespondierenden Blickwinkels der Gegenseite desselben Tieres zu vergleichen, wurden immer diese Bilderpaare auf derselben Seite des Berichtes dargestellt. Zum Beispiel wurde das Wärmebild VR kranial immer zusammen mit dem Wärmebild VL kranial auf einer Seite abgebildet.

Die Fotodateien wurden zusätzlich in ihren Dateinamen geändert, damit auch ohne Betrachtung der Bilder auf einen Blick erkennbar war, welcher Fuß welches Elefanten aus welcher Blickrichtung auf diesem Bild zu finden war. Dies beugte einer späteren Verwechslung von Bilddateien vor. Bei den Thermobildern war dies nicht nötig, da sie über bei der Aufnahme aufgesprochene Audiokommentare verfügten, die sie eindeutig identifizierten.

Das Datenfeld für jedes Thermobild konnte frei konfiguriert werden und enthielt in diesem Fall Angaben über die Uhrzeit und das Datum der Erstellung des Bildes, den

Dateinamen, den Abstand zum Objekt, die gemessene Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigkeit.

Diese Daten wurden vorher jedem Thermobild zugeordnet und zusätzlich außerdem noch die Angabe über den Emissionsgrad des Gewebes (TIPLER 1994, KARSTÄDT et al. 1998), den die Software benötigt, um aus den gemessenen Infrarotwerten einen Temperaturwert zu berechnen. Weiterhin wurde möglichst eine einheitliche Temperaturspanne zur Darstellung des Bildes gewählt, damit Vergleiche der Wärmemuster zwischen verschiedenen Aufnahmen möglich sind.

In einer ersten Betrachtung der Bilder wurden alle auffälligen Befunde bewertet und beschrieben. Hierbei wurde vor allem auf die vergleichende Betrachtung der Wärmemuster einer Seite und ihrer Gegenseite desselben Elefanten Wert gelegt. Aufgrund des anatomisch körperseitensymmetrischen Aufbaus der Vorder- und Hintergliedmaßen, muss die physiologische Wärmeabstrahlung ebenso symmetrisch sein. Bei Auftreten von sichtbaren Asymmetrien der Wärmemuster im Körperseitenvergleich, liegt demnach eine Auffälligkeit vor, welche unterschiedlichen Ursprungs sein kann.

Diese Auffälligkeiten wurden in der Auswertung in vermutliche Entzündungsanzeichen, technische Aufnahmefehler, durch Umgebungsfaktoren verursachte Veränderungen, Artefakte oder ungeklärte Ursachen kategorisiert.

Befunde mit Entzündungsanzeichen wurden zusätzlich nach Ausmaß der vermutlichen Entzündung in +, ++ und +++ eingeteilt. In diese Bewertung wurden sowohl das flächenmäßige Ausmaß des veränderten Wärmefeldes, die Höhe des Temperaturunterschieds zur Gegenseite und zu den vergleichbaren Arealen derselben Seite, als auch die Lokalität des Wärmefeldes mit einbezogen.

Diese Kategorisierung der vermutlichen Entzündungsanzeichen ist dadurch einer gewissen Subjektivität des Betrachters unterworfen und eignet sich dementsprechend schlecht zur weiteren Auswertung und als Grundlage einer allgemein verwertbaren Datenbank.

Um eine objektivere Beurteilung der Thermobilder zu erlauben, wurden daher verschiedene Regionen am Fuß definiert, an denen mittels der Thermosoftware spezielle Messungen durchgeführt wurden (Abb. 6).

An jedem Nagel wurden drei Bereiche definiert:

- Kronsaumregion (KS): Halbkreisförmige, direkt distal des Saumhorns beginnende und in ihrer Höhe ca. 1/4 bis 1/5 der Höhe des Nagelhorns ausmachende Region.
- Hufwandregion (HW): Den restlichen Bereich der Hufhornwand ausmachend, aber

nur bis kurz vor die Grenzfläche mit dem Boden reichend, um eine Beeinflussung durch die Bodentemperatur zu vermeiden.

- Zehenregion (ZR): Proximal der Kronsaumregion angrenzend und rechteckförmig ungefähr die gleiche Höhe wie das jeweilige Nagelhorn besitzend.

Für jeden Blickwinkel, sprich lateral, medial und kranial, wurden weiterhin folgende Messbereiche festgelegt:

- Subkarpal/-tarsalbereich (SC): Direkt proximal der Zehenregionen beginnend und rechteckförmig bis unter das Karpal- beziehungsweise Tarsalgelenk reichend.
- Karpal/Tarsalregion (CR): Kreisförmig unmittelbar um das Karpal- beziehungsweise Tarsalgelenk liegend und die ganze Gliedmaßenbreite umfassend.

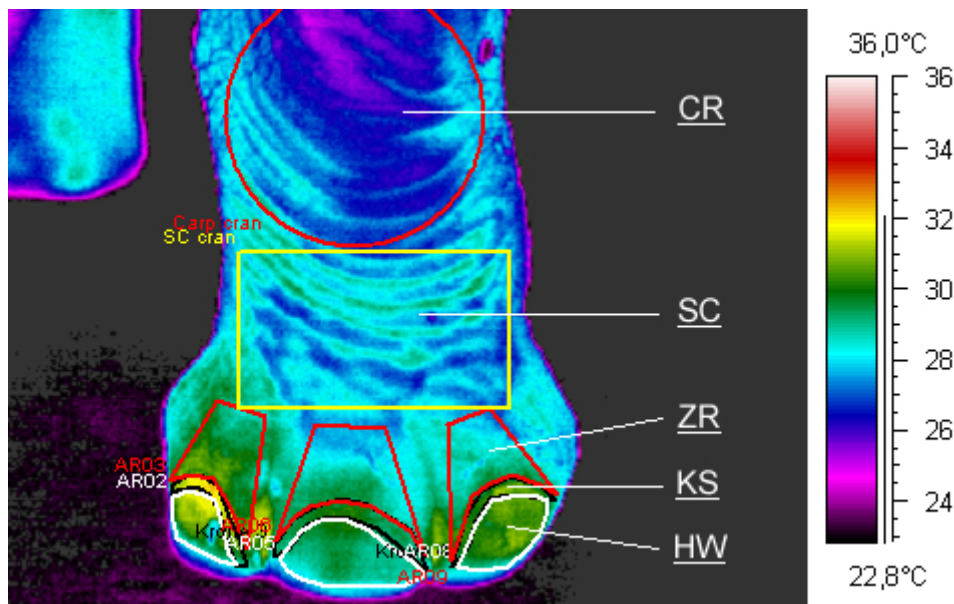


Abb. 6: Definierte Meßbereiche am Beispiel einer kranialen Ansicht eines Vorderfußes

Für jede definierte Region wurden die Maximal-, Minimal- und Durchschnittstemperatur sowie die Standardabweichung erfasst. Weiterhin wurden für jeden Nagel die Differenzwerte zwischen den Durchschnittstemperaturen der Kronsaum- und der Zehenregion als auch zwischen Kronsaum- und Hufwandregion errechnet.

Wenn einzelne Zehen auf verschiedenen Aufnahmen ausgewertet werden konnten, wie beispielsweise falls VR 4 sowohl auf der kranialen als auch auf der lateralen Aufnahme auswertbar war, wurde jeweils jene Ansicht für die Messungen ausgewählt, dessen Blickwinkel am ehesten senkrecht auf den Nagel fiel.

### 3.2.4 Datenselektion

Da der Hauptaspekt dieser Arbeit auf der Ermittlung des Wärmeprofiles gesunder Gliedmaßen liegt, war es wichtig, vor der Auswertung eventuell krankhafte oder aus anderen Gründen auffällige Thermoaufnahmen zu erkennen und auszusortieren. Alle Zehen, Gelenke oder andere Gliedmaßenbereiche, welche im oben beschriebenen Auswertungsprozess als auffällig beschrieben wurden, d. h. erkennbare Unterschiede zur körpergegenseitigen Aufnahme zeigten oder im Vergleich zu benachbarten Bereichen der gleichen Seite starke Differenzen aufwiesen, die auf der Gegenseite nicht zu finden waren, wurden aussortiert. Von den restlichen Aufnahmen konnte dann, mit unter diesen Untersuchungsbedingungen größtmöglicher Wahrscheinlichkeit, gesagt werden, dass es sich um unauffällige Normalbefunde handelt. Diese Daten bildeten somit die „Normalgruppe“, während die auffälligen Daten in der „Pathogruppe“ zusammengefasst wurden.

Die Normalgruppe umfasste 463 Aufnahmen von Vorderzehen und 368 von Zehen an den Hintergliedmaßen. Da für jeden Zeh die drei Messbereiche Hufwand, Kronsaum und Zehenregion definiert wurden, entspricht dies einer Gesamtsumme von 2493 Observationen im Zehenbereich.

*Tab. 3: Übersicht über die Anzahl der thermografischen Aufnahmen und ausgewerteten Meßbereiche*

	Vordergliedmaße	Hintergliedmaße
Zehe I	75	
Zehe II	108	77
Zehe III	96	99
Zehe IV	98	95
Zehe V	86	97
<b>Gesamt</b>	<b>463</b>	<b>368</b>
<b>Gesamt Meßbereiche (3 pro Zeh)</b>	<b>1389</b>	<b>1104</b>

	Subkarpal	Subtarsal
Medial	115	119
Kranial	118	120
Lateral	120	115
<b>Gesamt</b>	<b>353</b>	<b>354</b>

	Karpal	Tarsal
Medial	116	79
Kranial	117	82
Lateral	109	72
<b>Gesamt</b>	<b>342</b>	<b>233</b>

Die Daten und Thermobilder der Pathogruppe wurden genutzt, um im Anschluss an die statistische Erstellung der Wärmeprofile in Einzelfällen zu überprüfen, wie sich die für die Einordnung in die Pathogruppe verantwortlichen Auffälligkeiten des Thermobildes im individuellen Wärmeprofil widerspiegeln.

### **3.2.5 Statistische Auswertung**

Die Temperaturdaten der Durchschnittstemperaturen jedes Areals aus der Normalgruppe wurden für rechte und linke Körperseite zusammengefasst, da aufgrund der anatomischen Symmetrie beide Körperseiten weitestgehend identisch sein müssen, bzw. höchstens zufällige Unterschiede aufweisen können.

Vier Untergruppen wurden aufgrund ihrer anatomischen Lage gebildet:

Die Gruppe „Eins“ beinhaltet die Temperaturdaten aller drei Areale der Vorderfußzehen, die zweite Gruppe diejenigen der Hinterfüße.

Die Daten der Karpal- und Subkarpalbereiche von medial, lateral und kranial wurden in Gruppe „Drei“ zusammengefasst und Gruppe „Vier“ besteht aus den vergleichbaren Tarsal- und Subtarsalbereichen.

Mithilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) für wiederholte Beobachtungen, wurden die physiologischen Temperaturverteilungen der einzelnen Arealgruppen statistisch analysiert. Zur Auswertung wurden zwei verschiedene Modelle angewandt. Im ersten Modell wurde angenommen, dass die drei Messregionen Kronsaum, Hufwand und Zehenregion für jeden Zeh in einem gleichen Verhältnis zueinander stehen, während im zweiten Modell je nach Zehenposition unterschiedliche Verhältnisse der Messregionen möglich waren. Beide Modelle wurden anhand eines Maximum-Likelihood-Modells verglichen und das zweite Modell als das für diese Untersuchung zutreffendere ausgewählt.

Diese Analysemethode beachtet daher in ihrer Berechnung sowohl eventuelle Einflussnahmen von benachbarten Arealen aufeinander, als auch den Einfluss von zusätzlich ausgewählten Parametern, in diesem Fall die Raumtemperatur, die Luftfeuchtigkeit und das Alter des Tieres.

Es wurde außerdem versucht, den Einfluss der Haltungsfaktoren auf die Fußgesundheit zu erfassen, indem die Häufigkeit des Auftretens von Befunden mit vermutlichem Entzündungscharakter mit den vorliegenden Haltungsfaktoren der Zoos verglichen und statistisch ausgewertet wurde. Auch hierfür wurde eine einfaktorielle ANOVA für wiederholte Beobachtungen benutzt. Allerdings unter Einsatz eines „Logit“ Modells, da die abhängige Variable nur die Werte 0 (nicht entzündet) und 1 (entzündet) annehmen konnte.

Es konnten nur ein Teil der im Fragebogen abgefragten Haltungsfaktoren für die

statistische Auswertung ausgewählt werden, da mit steigender Anzahl von Faktoren das statistische Modell ungenauere Ergebnisse liefert. Voraussetzung zur Auswahl war das Vorhandensein von Informationen über diesen Haltungsfaktor bei jedem oder zumindest einem Großteil der untersuchten Elefanten. Für manche Faktoren gab es keine Daten bei einigen der Elefanten und eine Einbindung dieser Faktoren in die Analyse hätte eventuell keine exakten Ergebnisse geliefert.

Daten zu folgenden Haltungsfaktoren wurden eingebunden und statistisch im Bezug auf den eventuellen Einfluss auf die Fußgesundheit analysiert:

- Alter
- Fußbodenheizung
- Herkunft
- Herdengröße
- Aufenthaltsdauer im Außengehege zur Sommerzeit
- Stereotypen und ihre Ausprägung
- Fußkrankungshäufigkeit
- Fußpflegeintervalle

Für die deskriptive Statistik wurden teilweise polynomiale Ausgleichsrechnungen nach der Methode der kleinsten Quadrate eingesetzt. Hierbei wurde das Programm Statistica genutzt. Alle statistischen Tests waren signifikant bei  $p \leq 0,05$ .

### **3.3 Datenerfassung**

Es wurden Fragebögen erstellt, mit denen die individuellen Stammdaten eines jeden untersuchten Elefanten und die Eckdaten der Elefantenhaltung in jedem besuchten Zoo erfasst wurden.

Für jeden Elefanten wurden, außer den Grunddaten wie Alter, Größe, Gewicht und Herkunft, weitere Informationen über bisherige Erkrankungen der Füße, die jeweiligen Behandlungsmethoden, eventuelle Auffälligkeiten an den Füßen und bekannte Stereotypen gesammelt.

Mit dem Haltungsfragebogen wurde versucht, einen Überblick über das Haltungssystem zu bekommen, in dem Informationen über die Größe der einzelnen Gehege, Untergrundbeschaffenheit, Innenraumklima, Beschäftigungsmöglichkeiten der Elefanten, Futterplan, Berufserfahrung der Pfleger, Pflegeprozedur und Fußpflegemaßnahmen gesammelt wurden.

Nach jeder thermografischen Untersuchung wurden diese Fragebögen zusammen mit den verantwortlichen Pflegern und teilweise auch mit dem Zootierarzt durchgegangen



und ausgefüllt. Soweit möglich wurden die Informationen aus den Krankenakten der einzelnen Tiere gewonnen.

Die Daten wurden anschließend in ein Datenbankprogramm übertragen, dort verwaltet und für einige statistische Auswertungen der Thermodaten genutzt.

### 3.4 Fußdruckmessungen

Es wurden Untersuchungen bei drei Elefanten an zwei Terminen im Zoo Münster (zwei Elefanten) und dem Zoo Leipzig (ein Elefant) durchgeführt.

Die Untersuchungen wurden jeweils vormittags in den Innengehegen der Zoos auf Zementuntergrund vorgenommen.

Die Elefanten mussten den zu messenden Fuß mittig auf die Sensormatte setzen und belasten (Abb. 7). In der ersten Messreihe wurden die Drücke unterhalb der Sohlen gemessen, wenn alle vier Beine auf dem Boden waren.

Für die zweite Messreihe mussten die Elefanten den jeweils gegenseitigen Fuß anheben, um eine eventuell gleichmäßigere Belastung des Fußes zu gewährleisten.

Vor der dritten Messreihe wurde der Sensormatte ein mehrfach gefaltetes Bettlaken untergelegt, um einen weicherer Untergrund zu simulieren und zusätzlich der gegenseitige Fuß angehoben.

Die erhaltenen Daten wurden mittels der Computersoftware ausgewertet und grafisch dargestellt.



*Abb. 7: Pedografie eines Vorderfußes*

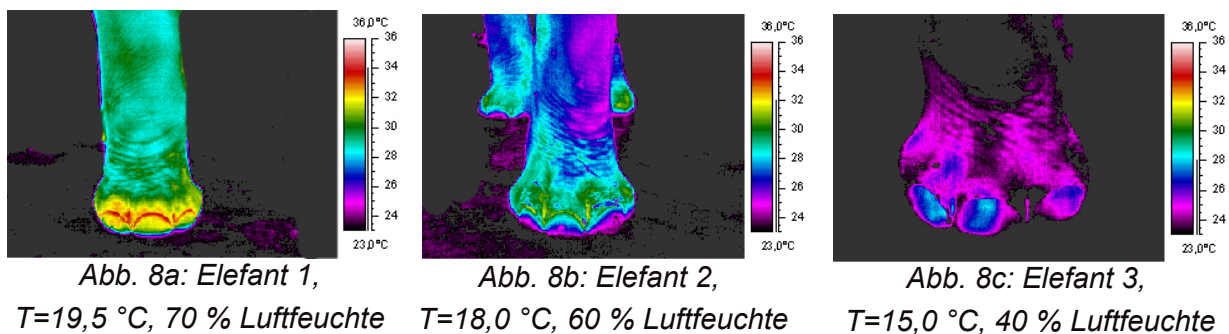
## 4 Ergebnisse

### 4.1 Thermografische Untersuchungen

#### 4.1.1 Normalbefunde

##### 4.1.1.1 Umgebungseinfluss

In der vorliegenden Studie wurde schnell festgestellt, dass sich die absoluten Temperaturen der untersuchten Elefantenfüße stark von Zoo zu Zoo und auch zwischen Individuen im selben Zoo stark unterscheiden können.



Bilder 8a bis 8c zeigen kraniale Aufnahmen eines Vorderfußes dreier verschiedener Elefanten ohne bekannte Beschwerden und aus drei unterschiedlichen Zoos.

Bild 8a ist eine Aufnahme bei einer Raumtemperatur von  $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  und 70 % Luftfeuchtigkeit. Es zeigt proximal der Zehen eine Durchschnittstemperatur von ca.  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Bild 8b wurde bei  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  und 60 % Luftfeuchtigkeit aufgenommen, und zeigt im gleichen Bereich eine Durchschnittstemperatur von ca.  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , während Bild 8c bei  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 40 % Luftfeuchtigkeit erstellt wurde, und im entsprechenden Bereich einen Temperaturbereich von ca.  $22\text{--}23\text{ }^{\circ}\text{C}$  aufweist.

Für alle drei Bilder wurden zu Vergleichszwecken die Temperaturskalen auf einen identischen Bereich von  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  eingestellt.

Es wurde daher untersucht, inwieweit Umgebungstemperatur, Luftfeuchte und Alter des untersuchten Tieres verantwortlich für die großen Unterschiede in den absoluten Temperaturen der Füße sind. Den größten Einfluss übt hierbei die Umgebungstemperatur aus:

Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur im Untersuchungsraum um  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  verursacht eine Verschiebung des Wärmeprofiles um  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  nach oben.

Die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Raum um 1 % wirkt sich mit einer



Profilverschiebung um 0,03 °C auf der Temperaturachse nach oben aus.

Das Alter des Elefanten hat einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Temperatur: Ein Unterschied von einem Lebensjahr verursacht einen Temperaturunterschied von 0,01 °C.

Die starken Temperaturunterschiede sind also teilweise auf die Umgebungstemperatur und Luftfeuchte zum Zeitpunkt der Untersuchung zurückzuführen. Da allerdings auch Unterschiede zwischen Elefanten desselben Zoos festgestellt wurden, spielen hierbei sicherlich zusätzlich auch individuelle anatomisch-physiologische Unterschiede eine große Rolle.

#### 4.1.1.2 Hufwand

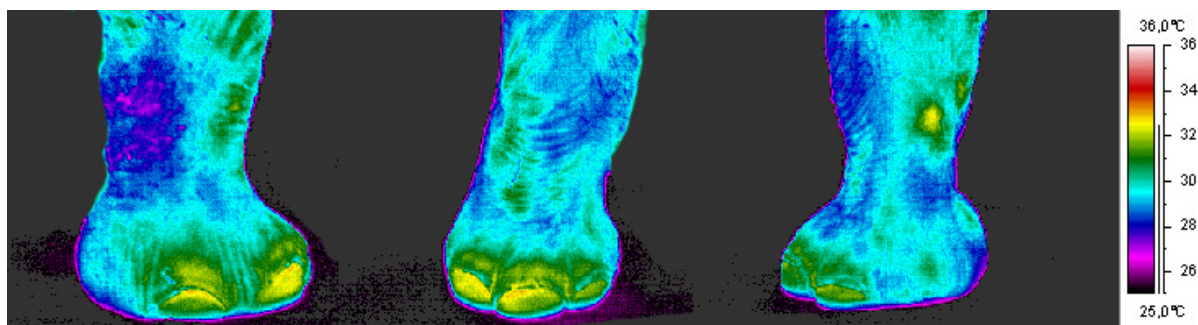


Abb. 7: Rechtes Vorderbein einer Elefantenkuh von lateral, kranial und medial

Die Hufwände der Zehen sind auf thermografischen Aufnahmen meist sehr gut zu erkennen. Sie zeichnen sich durch eine homogene Oberflächenstruktur aus, die deutlich wärmer als die Gliedmaße proximal der Zehen ist. Der wärmste Bereich der Hufwände befindet sich direkt unter dem Kronsaum und kühlt dann nach distal und zur Mitte der Hufwand hin graduell ab. An der Kontaktfläche mit dem Boden lässt sich je nach Wärme des Untergrundes ein kühler Übergangssaum erkennen.

An den Vorderbeinen zeigen die gemittelten Hufwandtemperaturen der Zehen einen deutlichen parabelförmigen Verlauf, der nach einem starken Anstieg von Zehe I zu II etwas abflacht, bei Zehe III und IV ihren Höhepunkt erreicht und zur Zehe V hin wieder langsam abfällt. Besonders Zehe I ist häufig nur schwer auf den Thermoaufnahmen zu erkennen, da sie wesentlich niedrigere Temperaturen als die Nachbarzehen aufweist und sich daher mit dem Wärmebild des restlichen Fußes vermischt. In diesem Falle kann nur mit Hilfe der fotografischen Aufnahme die Position der Zehe ermittelt werden.

Zwischen der Hufwand der Zehen I und II besteht ein Temperaturunterschied von 1 °C, zwischen II und III beträgt dieser Unterschied nur 0,3 °C, III und IV sind identisch und zwischen IV und V wieder 0,3 °C (Tab. 4).

An den Hinterbeinen verläuft die Temperaturkurve der Hufwände ähnlich denen der

Vorderbeine. Der Unterschied von Zehe II zu der Zehe III beträgt 0,2 °C, von Zehe III zu IV ca. 0,7 °C und von Zehe IV zu V durchschnittlich 0,6 °C.

Tab. 4: Temperaturspektrum der Hufwände von Vorder- und Hintergliedmaßen aller untersuchter Elefanten ohne Entzündungsanzeichen

	Hufwand in °C									
	Ø	I max/min	Ø	II max/min	Ø	III max/min	Ø	IV max/min	Ø	V max/min
Vorderfuß	29,1	32,4 25,7	30,1	33,5 26,8	30,4	33,8 27,1	30,4	33,8 27,1	30,1	33,5 26,8
Hinterfuß			29,4	33,2 25,5	29,6	33,4 25,8	30,3	34,1 26,5	29,7	33,5 25,9

#### 4.1.1.3 Kronsaum

Der Kronsaum ist die wärmste Region jeder Zehe und liegt an den Vorderbeinen durchschnittlich 0,8 °C über den Temperaturwerten der jeweiligen Hufwand. Durch diesen klaren Wärmeunterschied lässt sich der Kronsaum auch im Thermobild meist gut erkennen.

Der Wärmeunterschied der einzelnen Zehen entspricht dem der Hufwände und zeigt daher die geringsten Temperaturen an Zehe I, steigt dann bei Zehe II, III und IV auf ein Plateau und fällt zur Zehe V wieder etwas ab. Damit folgt die Wärmekurve des Kronsaums dem der Hufwand.

An den Hintergliedmaßen liegt die Temperatur des Kronsaumes zwischen 0,3 °C und 0,8 °C über dem der entsprechenden Hufwand.

Tab. 5: Temperaturspektrum der Kronsäume von Vorder- und Hintergliedmaßen aller untersuchter Elefanten ohne Entzündungsanzeichen

	Kronsaum in °C									
	Ø	I max/min	Ø	II max/min	Ø	III max/min	Ø	IV max/min	Ø	V max/min
Vorderfuß	29,9	33,2 26,5	30,9	34,3 27,6	31,3	34,6 27,9	31,1	34,5 27,8	30,9	34,2 27,5
Hinterfuß			29,6	33,5 25,8	30,3	34,2 26,5	30,8	34,6 27	30	33,9 26,2

#### 4.1.1.4 Zehenareal

Der Bereich jedes Zehs, welcher topografisch über den knöchernen Endstrukturen liegt und, wie im vorhergehenden Teil der Arbeit erwähnt, hier als Zehenareal bezeichnet wird, zeigt ein etwas anderes Temperaturprofil, als bei der Hufwand und dem Kronsaum. Zum einen ist die Oberflächenbeschaffenheit dieses Areals durch sein Hautmaterial uneinheitlicher und zum anderen durch den fließenden Temperaturübergang zur Haut des restlichen Fußes schwieriger abzugrenzen.

Das Verlaufsprofil von Zehe I zu V am Vorderfuß ähnelt eher einer gezahnten Kurve, das heißt, es ist keine konstante Temperaturentwicklung zur Zehe V zu verzeichnen. Zehe II und Zehe V zeigen einen leicht höheren Temperaturwert als die Nachbarzehen.

Auch am Hinterbein ist ein gezackter Temperaturverlauf erkennbar, welcher bei Zehe II und V die gleichen Temperaturen aufweist.

Im Vergleich zu den Temperaturen der Hufwand- und Kronsaumregion liegt die Zehenregion im Bereich der innersten und der äußersten Zehe oberhalb der Hufwandwerte und teilweise sogar auf Höhe der Kronsaumtemperaturen. Bei den Mittelzehen schwankt die Temperatur um den Temperaturbereich der korrespondierenden Hufwände.

Tab. 6: Temperaturspektrum der Zehenareale von Vorder- und Hintergliedmaßen aller untersuchter Elefanten ohne Entzündungsanzeichen

Zehenareal in °C										
	Ø	I max/min	Ø	II max/min	Ø	III max/min	Ø	IV max/min	Ø	V max/min
Vorderfuß	29,9	33,3 26,6	30,3	33,6 26,9	30,1	33,4 26,7	30,2	33,5 26,8	30,5	33,9 27,2
Hinterfuß			29,9	33,7 26,1	29,5	33,4 25,7	30,3	34,2 26,5	29,9	33,8 26,1

#### 4.1.1.5 Perioplum

Das Perioplum stellt sich im Thermobild normalerweise kaum dar. Der Übergang zum verhältnismäßig warmen Kronsaum ist recht gut zu erkennen, während nach proximal meist nur ein schmaler, im Vergleich zum umliegenden Gewebe bis zu 1 °C wärmerer Streifen die Grenze zur restlichen Epidermis des Fußes andeutet.

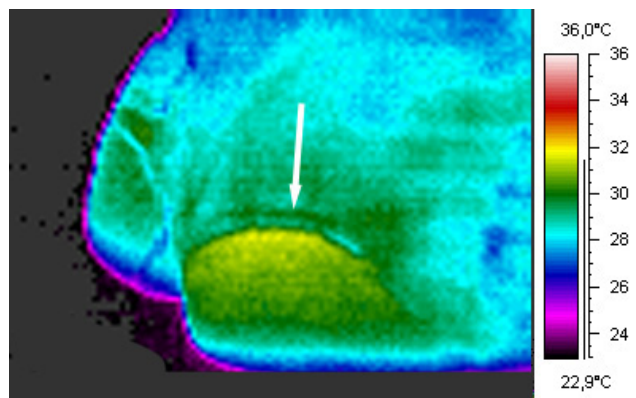


Abb. 10: Zehe IV eines Vorderfußes mit deutlich sichtbarer Perioplumgrenze (Pfeil)

#### 4.1.1.6 Zwischenzehenraum

Der Zwischenzehenraum zeigt im Bereich zwischen den Zehen II, III und IV einen vertikalen, schmalen Streifen mit leicht höheren Temperaturen, die teilweise fast Temperaturbereiche von denen des Kronsaumes erreichen können. Dieser Streifen ist vor allem bei eng zusammen stehenden Nägeln ausgeprägt. Zwischen den Zehenpaaren I und II bzw. IV und V finden sich diese Erwärmungen nicht.

#### 4.1.1.7 Subkarpal-/tarsalbereich

Der Subkarpal- bzw. -tarsalbereich schließt sich dem Zehenareal nach proximal an und wurde als rechteckige Fläche von kranial, medial und lateral ausgewertet. Die Oberflächenstruktur im Thermobild ist häufig recht unregelmäßig, u. a. aufgrund von dort zu findenden Hautfalten und Haare.

Die durchschnittliche Temperatur im Subkarpalbereich variiert nur unbedeutend zwischen lateral, medial und kranial. Sie entspricht ungefähr der Hufwandtemperatur des Zehs I, liegt aber zwischen 1 °C und 1,5 °C unter denen der Hufwände der anderen Zehen.

Der Subtarsalbereich zeigt medial und kranial ähnliche Temperaturwerte, weist aber lateral mit 28,9 °C leicht niedrigere Temperaturen auf.

In den seitlichen Aufnahmen kann man sowohl an Vorder- als auch an den Hinterbeinen nach kaudal und distal hin eine leicht abnehmende Temperaturabstrahlung erkennen.

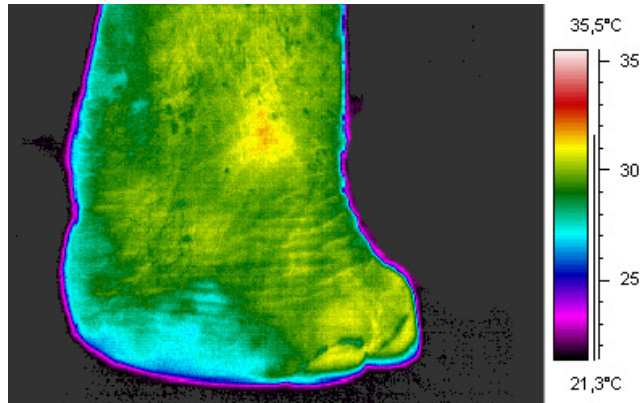


Abb. 11: Mediale Ansicht eines Hinterfußes mit geringgradigem Wärmefeld oberhalb des Subtarsalbereiches

#### 4.1.1.8 Karpal-/ Tarsalgelenk

Das Karpal- und Tarsalgelenk in den Thermoaufnahmen zu lokalisieren, ist auf den lateralen/medialen Aufnahmen recht einfach. Es liegt proximal der meist gut sichtbaren Verjüngung des Beindurchmessers (Abb. 12). In der kranialen Aufsicht ist diese Verjüngung nicht so stark ausgeprägt, weshalb es hier am einfachsten unter Beachtung der Hautfalten aufzufinden ist (Abb. 13). Während diese Hautfalten distal des Gelenks eher horizontal verlaufen, sind um das Gelenk herum gebogene Falten zu erkennen.

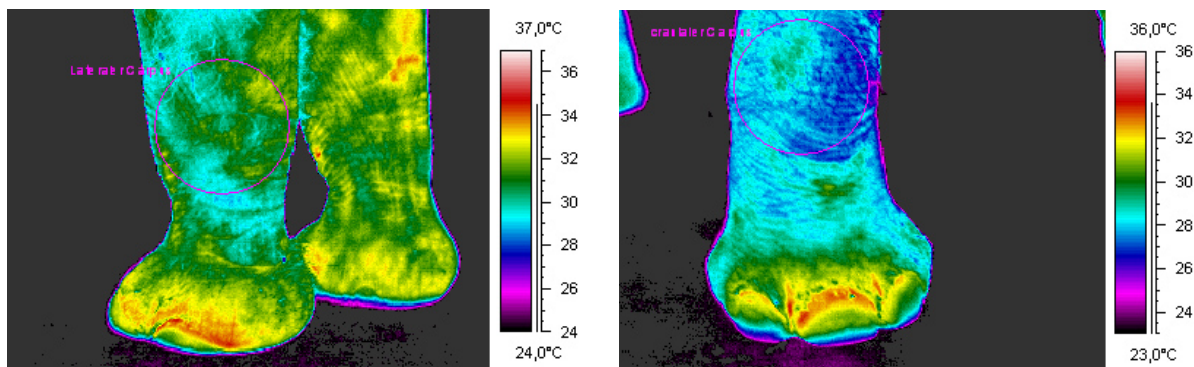


Abb. 12 und 13: Lateral- und Kranialansicht eines Vorderbeines mit Karpalgelenkmarkierung

#### 4.1.1.9 Wärmeprofile

Abbildung 14 zeigt das errechnete physiologische Wärmeprofil der Elefantenvorderfüße mit optimierter Temperaturskala. Abbildung 15 stellt zusätzlich die Markierungen der oberen und unteren Grenzwerte des 95 % Konfidenzintervalls dar.

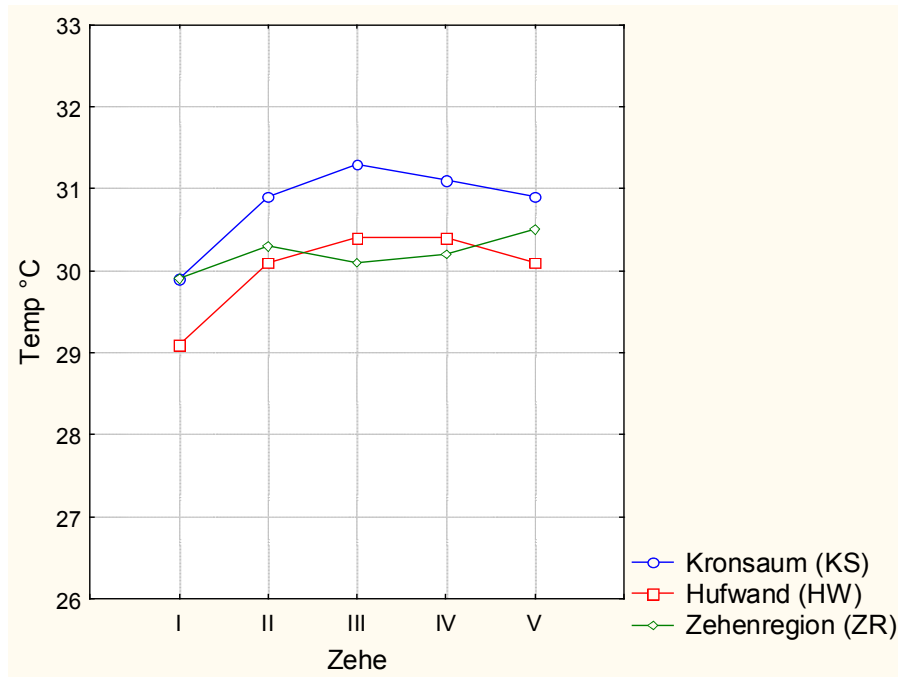


Abb. 14: Physiologisches Wärmeprofil der Vorderfüße Asiatischer Elefanten

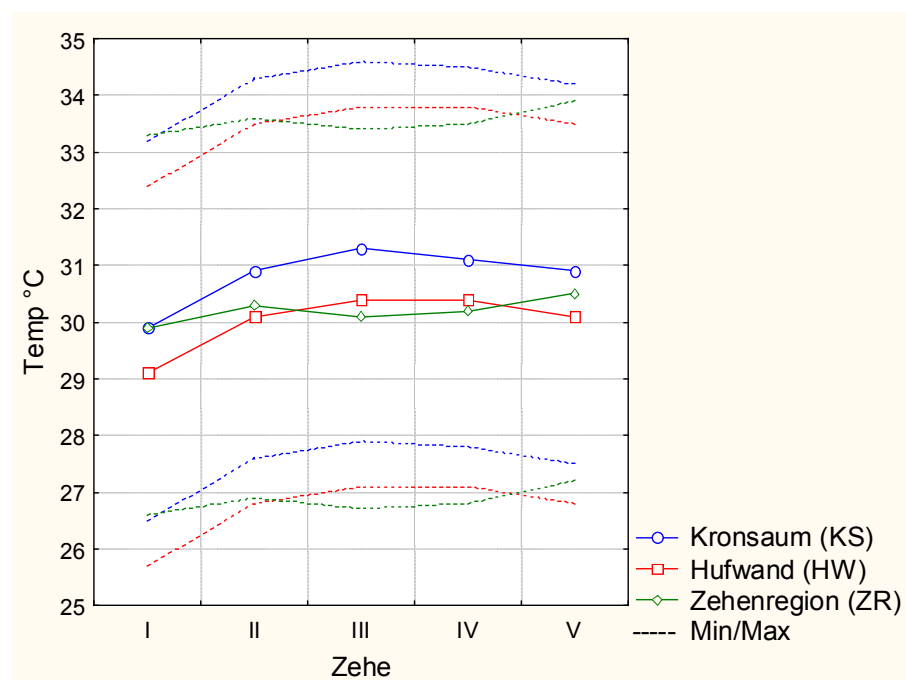


Abb. 15: Physiologisches Wärmeprofil der Vorderfüße mit Darstellung des minimalen und maximalen 95 % Konfidenzintervalls

Es ist ein relativ klares Profil der Temperaturverhältnisse am Vorderfuß zu erkennen. Die Kronsaumtemperaturen liegen bei Huf 1 bei 29,9 °C, steigen in einer leichten Kurve bis auf 31,3 °C am Huf 3 an und fallen minimal zu Huf 5 mit 30,9 °C ab. Die Hufwandtemperaturen folgen diesem Kurvenverlauf einigermaßen exakt mit einer um 0,8 °C geringeren Temperatur.

Im Gegensatz zu diesem Kurvenprofil zeigt die Temperaturlinie der Zehenregionen ein eher uncharakteristisches Profil mit um 30,2 °C (I: 29,9 °C, II:30,3 °C, III:30,1 °C, IV:30,2 °C, V:30,5 °C) verteilten Temperaturwerten, die in keinem erkennbarem Verhältnis zu den Temperaturen des Kronsaums oder der Hufwand stehen. Generell erreichen die Temperaturen der Zehenregionen maximal (Zehe I) die des Kronsaums, bleiben ansonsten aber darunter und bei Zehe III und IV sogar unterhalb der korrespondierenden Hufwandtemperaturen. Der Kronsaum ist also die Region mit der stärksten Wärmeabstrahlung am distalen Elefantenfuß.

Die Grenzwerte des Konfidenzintervalls liegen konstant für jeden gemessenen Punkt um 3,1 °C bis 3,4 °C höher, bzw. niedriger. Das Temperaturverhältnis zwischen den korrespondierenden Bereichen entspricht allerdings auch in den oberen und unteren Grenzen des Konfidenzintervalls den im vorigen Absatz gefundenen Differenzen. Das heißt, das über den Fuß verteilte Wärmeprofil ändert sich nicht oder nur geringfügig, aber die Lage des Profils auf der Temperaturskala kann sich je nach Umgebungsbedingungen und Individuum verändern.

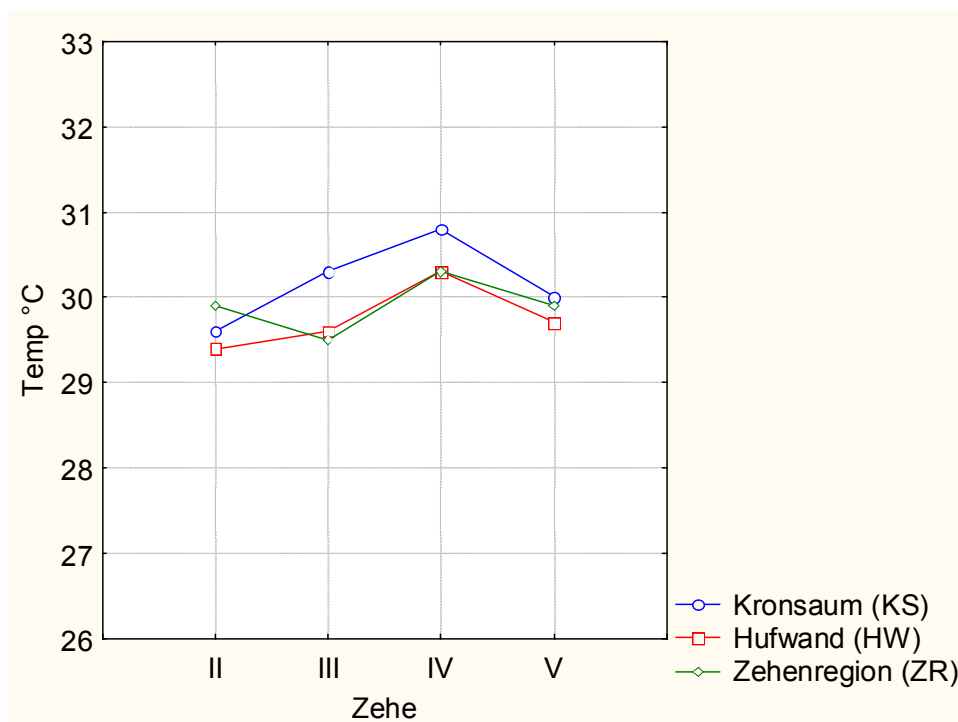


Abb. 16: Physiologisches Wärmeprofil der Hinterfüße Asiatischer Elefanten



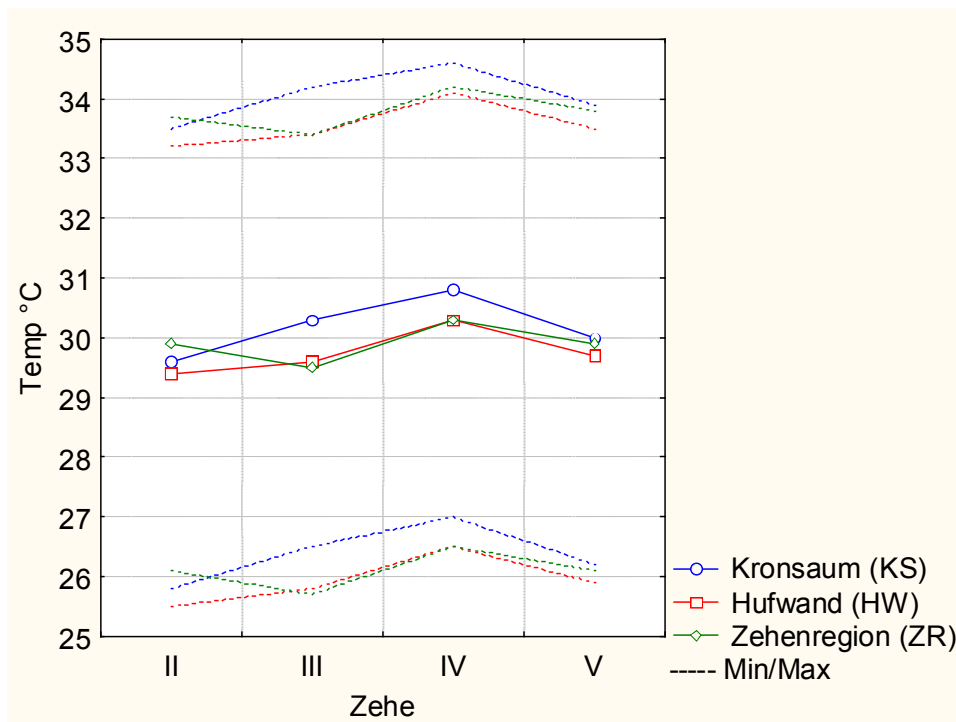


Abb. 17: Physiologisches Wärmeprofil der Hinterfüße mit Darstellung des minimalen und maximalen 95% Konfidenzintervalls

Das Wärmeprofil des Hinterfußes (Abb. 16) lässt sich im groben Verlauf mit dem des Vorderfußes vergleichen. Die mit 29,6 °C niedrigsten Temperaturen des Kronsaums findet man hier ebenso an dem weitesten medial gelegenen Huf II. Die Kronsaumtemperatur steigt dann über 30,3 °C (Huf III) bis 30,8 °C (Huf IV) an und fällt zum äußersten Huf V wieder auf 30 °C ab.

Auch hier folgt das Wärmeprofil der Hufwand dem des Kronsaums mit allerdings etwas unterschiedlichen Abständen. Huf II liegt mit 29,4 °C nur 0,2 °C, Huf III (29,6 °C) 0,9 °C, Huf IV (30,3 °C) 0,5 °C und Huf V (29,7 °C) 0,3 °C unter den entsprechenden Kronsaumtemperaturen.

Die Zehenregion weist an Huf II (29,9 °C) eine minimal höhere Temperatur als der Kronsaum auf, fällt dann bei Huf III unter die der Hufwand (29,5 °C), ist bei Huf IV (30,3 °C) mit dieser identisch und liegt bei Huf V (29,9 °C) knapp unter der des Kronsaums.

Die Konfidenzintervallsgrenzen liegen am Hinterfuß 3,9 °C höher, bzw. 3,8 °C niedriger als die korrespondierenden Mittelwerte (Abb. 17). Damit ist die Temperaturspanne noch größer als am Vorderfuß, bei minimal geringeren horizontalen Unterschieden im Wärmeprofil.

Das Temperaturverhältnis zwischen den korrespondierenden Bereichen entspricht allerdings auch hier in den oberen und unteren Grenzen des Konfidenzintervalls den im vorigen Absatz gefundenen Differenzen.

Der Subkarpalbereich zeigt fast identische Temperaturen in der medialen (28,9 °C), kranialen (29,1 °C) und lateralen (29,1 °C) Ansicht (Abb. 18). Die 95 % Konfidenzintervalle liegen um 3,5 °C höher beziehungsweise niedriger als die gemittelten Temperaturwerte.

Die untersuchten Bereiche am Karpus wiesen nach statistischer Analyse medial (29,3 °C) eine leicht höhere Temperatur als der entsprechende Subkarpalbereich auf, kranial (28,2 °C) und lateral (28,7 °C) liegen sie 0,9 °C beziehungsweise 0,4 °C niedriger.

Die 95 % Konfidenzintervallsgrenzen liegen medial um 2,6 °C höher und 3,9 °C niedriger, kranial 3,3 °C beziehungsweise 3,2 °C und lateral um 3,8 °C höher und 2,7 °C niedriger als die statistisch gemittelte Temperatur.

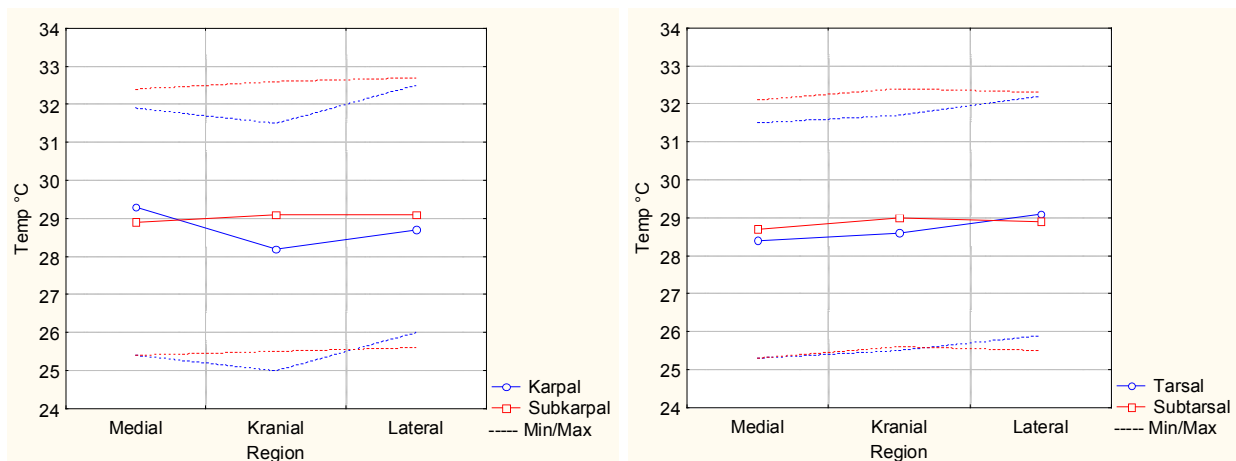


Abb. 18 (links) und 19 (rechts): Physiologisches Wärmeprofil der Karpal/Subkarpal und Tarsal/Subtarsalregion mit Darstellung des minimalen und maximalen 95% Konfidenzintervall

Der Subtarsalbereich zeigt ebenfalls fast identische Temperaturen in der medialen (28,7 °C), kranialen (29 °C) und lateralen (28,9 °C) Ansicht (Abb. 19). Die 95% Konfidenzintervalle liegen um 3,4 °C höher beziehungsweise niedriger als die gemittelten Temperaturwerte.

Die untersuchten Bereiche am Tarsus weisen nach statistischer Analyse medial (28,4 °C) und kranial (28,6 °C) eine leicht niedrigere Temperatur als die vergleichbaren Subtarsalwerte auf, während lateral (29,1 °C) eine minimal höhere Temperatur erreicht wird.

Die Konfidenzintervallsgrenzen liegen um 3,1 °C über und unter den Mittelwerten.



#### 4.1.2 Exemplarische Befunde

Im Laufe der Untersuchungen wurden etliche Thermogramme mit entzündlichen Charakteristika gefunden, welche im Anschluss an die Erstellung der physiologischen Wärmeprofile mit diesen verglichen wurden, und anhand derer die praktische Relevanz der physiologischen Wärmeprofile im Einzelfall überprüft werden sollte. Im Folgenden werden einige exemplarische Fälle beschrieben.

- Bulle 1, 19 Jahre, ca. 4500 kg

Aufgrund von Sicherheitsvorkehrungen konnten nicht alle Aufnahmen aus der gleichen Distanz erstellt werden. Messwerte von Zeh I beider Seiten konnten nicht gewonnen werden, da kein Huf zu erkennen war. Klinisch zeigte der Bulle keine Beschwerden.

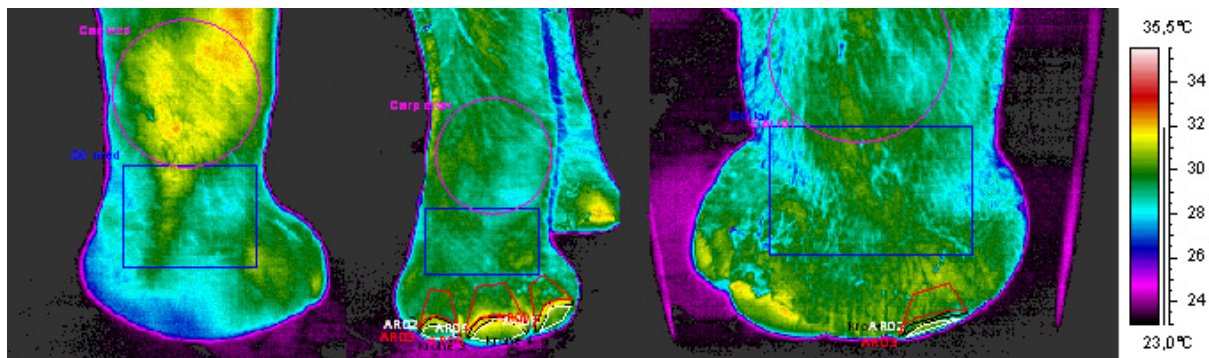


Abb. 20: Bulle 1, linker Vorderfuß medial, kranial, lateral (von links nach rechts)

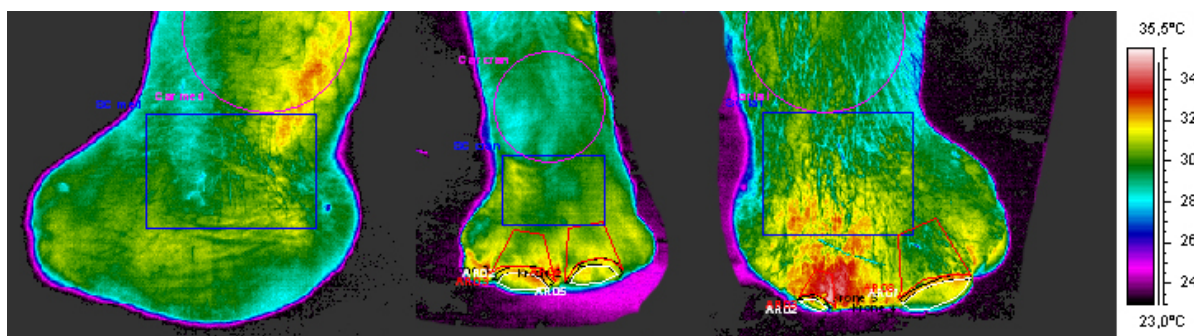


Abb. 21: Bulle 1, rechter Vorderfuß medial, kranial, lateral (von links nach rechts).  
Hochgradige Entzündungsanzeichen am V. Zeh

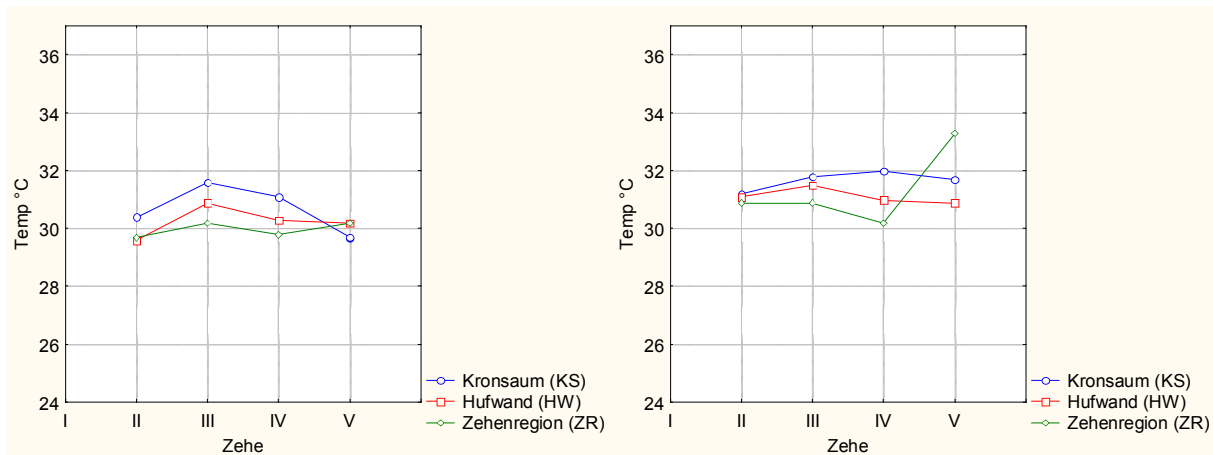


Abb. 22: Bulle 1, Wärmeprofil linker Vorderfuß

Abb. 23: Bulle 1, Wärmeprofil rechter Vorderfuß

Bei Betrachtung der Thermografiebilder zeigt sich ein recht regelmäßiges Wärmeprofil über alle Zehen des linken Vorderfußes und über die medialen drei Zehen des rechten Vorderfußes. Insgesamt sind die Temperaturen des rechten Vorderfußes, im Vergleich zur Gegenseite, etwas erhöht.

Sehr deutlich ist der starke Wärmeherd am Zeh V des rechten Vorderfußes zu erkennen. Vor allem die starke Erwärmung oberhalb des Hufes ist hier besonders auffällig und tritt noch weit außerhalb der gemessenen Zehenregion auf. Der Zeh V der Gegenseite ist dagegen vollkommen unauffällig und auch die restlichen Zehen des rechten Vorderfußes zeigen keinerlei oder nur geringe Auffälligkeiten.

Im Wärmeprofil wird diese Beobachtung durch den starken Anstieg der Zehenregionstemperatur verdeutlicht, welche 1,6 °C über der des im Vergleich zur Gegenseite ebenfalls wärmeren Kronsaumes liegt und sogar 3,1 °C über der Temperatur der Zehenregion des linken Vorderfußes.

- Kuh I, 30 Jahre, ca. 3300 kg

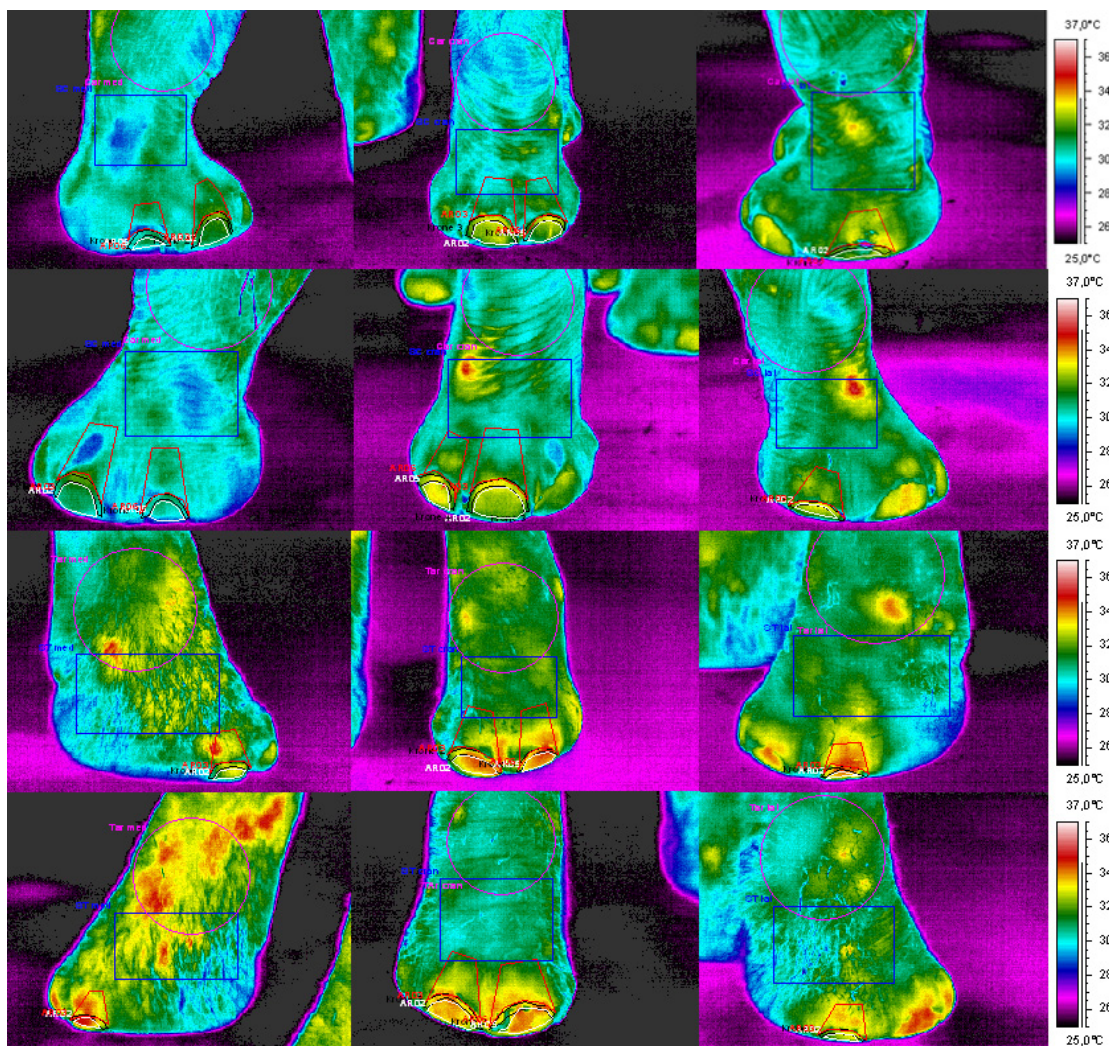


Abb. 24: Thermobildzusammenstellung Kuh 1. Von oben nach unten: linker, rechter Vorderfuß, linker, rechter Hinterfuß. Von links nach rechts: medial, kranial, lateral

Auf den Thermobildern (Abb. 24) fällt auf, dass die beiden Hinterfüße über allen Zehen eine höhere Wärmeabstrahlung zeigen als die Vorderfüße. Beide Medialaufnahmen der Vorderfüße sind etwas kühler im Zehenbereich, als die vergleichbaren kranialen und lateralen Aufnahmen, was sich mit dem Verlauf des physiologischen Wärmeprofiles deckt.

Unterhalb des rechten Karpus stellt sich auf dem kranialen und lateralen Thermobild sehr deutlich ein fokales Wärmefeld dar. Am linken Vorderfuß ist ein ähnlich lokalisiertes, aber etwas schwächeres Wärmefeld nur auf der lateralen Aufnahme zu erkennen.

An beiden Hinterfüßen zeigen sich teilweise fokale, teilweise diffuse Wärmeherde am Tarsus, insbesondere am rechten medialen Tarsus ist ein starkes, diffuses Wärmemuster erkennbar.



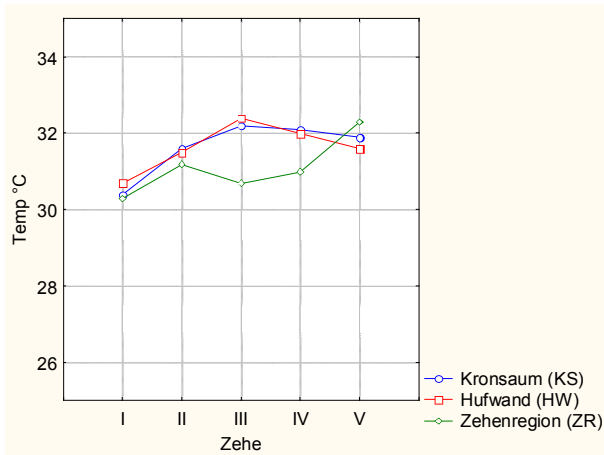


Abb. 25: Wärmeprofil Kuh 1, linker Vorderfuß

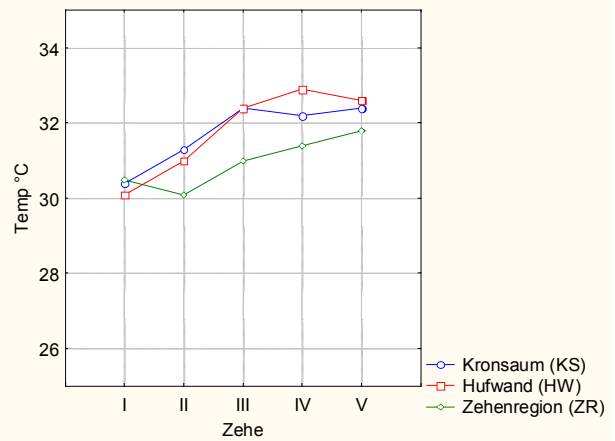


Abb. 26: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Vorderfuß

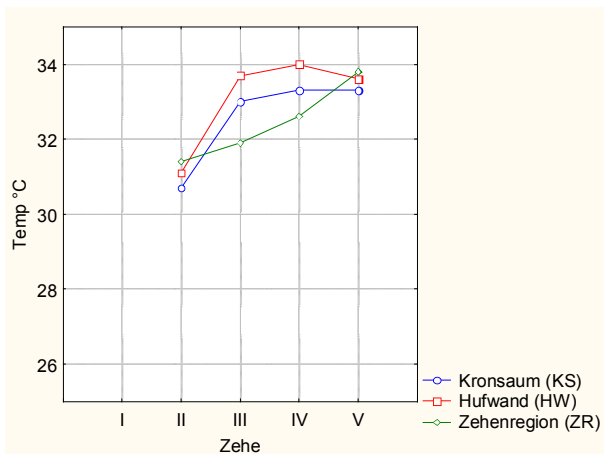


Abb. 27: Wärmeprofil Kuh 1, linker Hinterfuß

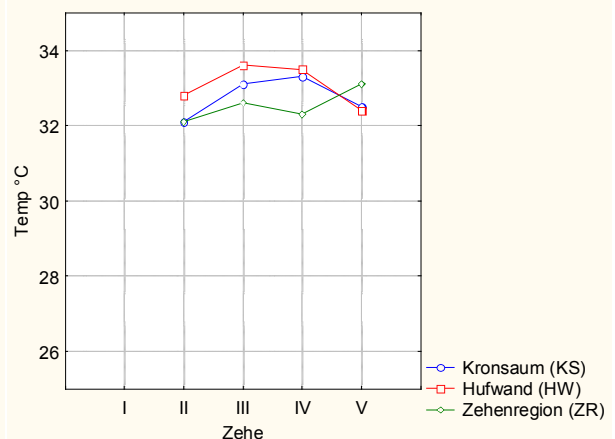
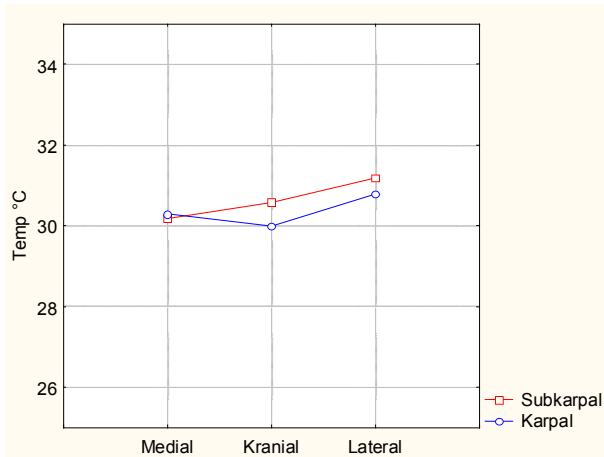
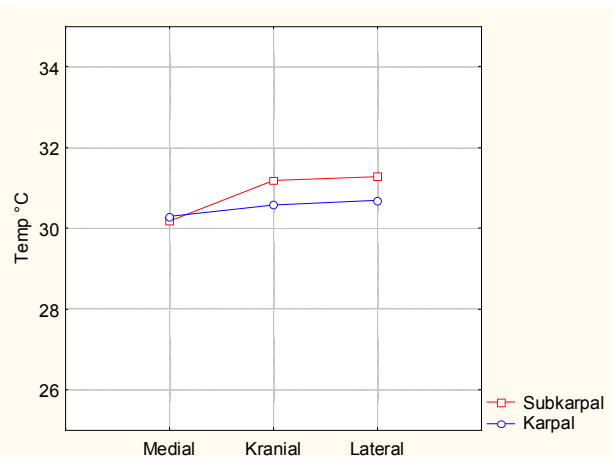


Abb. 28: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Hinterfuß

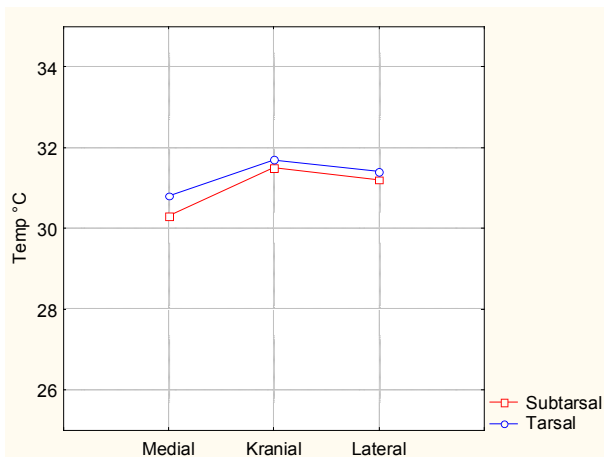
In den Wärmeprofilen (Abb. 25 - 28) zeigen sich deutlich die im Vergleich mit den Vorderfüßen wesentlich höheren Temperaturen aller Zehenbereiche der Hinterfüße. Die Hufwände der Hinterfüße übertreffen hierbei an allen Zehen die Temperaturen des jeweiligen Kronsaumes. An den V. Zehen VL, HL und HR und an Zeh II HL übertrifft die Temperatur der Zehenregion (ZR) die der anderen beiden Regionen Kronsaum (KS) und Hufwand (HW). Allerdings ist nur bei Zeh V HR diese Differenz mit 0,6 °C gegenüber KS etwas ausgeprägter. Im Vergleich mit der Gegenseite lässt sich aber vermuten, dass dies nicht durch eine Erhöhung der ZR-Temperatur bedingt ist, sondern durch niedrigere Temperaturen der KS und HW Regionen des V. Zeh HR.



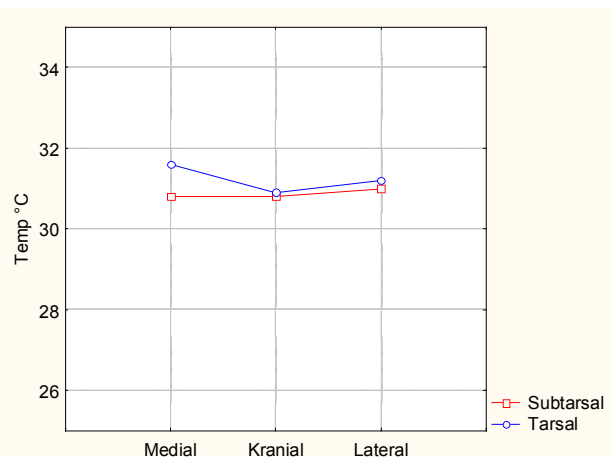
*Abb. 29: Wärmeprofil Kuh 1, linker Vorderfuß, Karpal und Subkarpalregion*



*Abb. 30: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Vorderfuß, Karpal und Subkarpalregion*



*Abb. 31: Wärmeprofil Kuh 1, linker Hinterfuß, Tarsal und Subtarsalregion*



*Abb. 32: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Hinterfuß, Tarsal und Subtarsalregion*

Bis auf den leichten Anstieg der lateralen Temperaturen des linken Karpus und Subkarpus stimmen die Vorderbeinprofile dieser Regionen einigermaßen mit denen der physiologischen Wärmeprofile überein (Abb. 29 - 32).

Im Wärmeprofil des rechten Hinterbeins ist die auf dem Thermobild festgestellte, diffuse Erwärmung des medialen Tarsus klar zu erkennen.

## 4.2 Elefantenhaltung in den besuchten Zoos

### 4.2.1 Innengehege

Größe und Ausstattung der Innengehege haben einen wesentlichen Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere, da vor allem in unseren gemäßigten bis kühlen Breiten häufig längere Unterbringungen im Haus nötig sind.

Die Größe der Innengehege der besuchten Zoos lag zwischen 60 und 1200 m<sup>2</sup>, welches, umgerechnet auf die Herdengröße, auf 16 bis 215 m<sup>2</sup> Gehegefläche pro Elefant kommt. Diese Fläche ist nicht immer gleichzusetzen mit der den Elefanten tatsächlich zur Verfügung stehenden Fläche, da die Tiere in Gruppenhaltungen natürlich auch die Fläche der anderen Elefanten in Anspruch nehmen können.

*Tab. 7: Gehege- und Herdengröße der besuchten Zoos mit Vergleich der entsprechenden EAZA Empfehlungen*

Zoo	Herdengröße (Bullen, Kühe, Jungtiere)	Innengehege (m <sup>2</sup> )	Berechnete EAZA Empfehlung (m <sup>2</sup> )	Fläche pro Elefant (m <sup>2</sup> )
1	7 (1,6)	500	295	71,43
2	2 (0,2)	430	72	215
3	5 (1,4)	80	245	16
4	13 (1,8,4)	480	545	43,64
5	7 (1,5,1)	keine Angabe		
6	1 (0,1)	60	36	60
7	12 (1,9,2)	360	545	32,73
8	6 (1,5,0)	600	295	100
9	5 (0,5)	300	250	60
10	8 (1,5,2)	keine Angabe		
11	4 (0,4)	128	200	32
12	4 (0,4)	210	200	52,5
13	9 (1,6,2)	keine Angabe		
14	6 (1,4,1)	162	270	29,45
15	9 (1,4,4)	1200	345	171,43
16	7 (1,5,1)	560	320	86,15
17	3 (0,3)	112	150	37,33

Die Böden der Innengehege bestanden in 11 der 17 Zoos vollständig aus unnachgiebigen Materialien wie Asphalt, Zement oder in einem Fall Fliesen. In vier Zoos waren Teile der Gehege mit tiefer Stroheinstreu, meterdicker Sandschicht, Holzböden oder speziellen, nachgebenden Hartgummiböden ergänzt. Häufig waren diese Ergänzungen im Bullenstall zu finden. Zwei Zoos nutzten vorwiegend Stallit, eine Mixtur aus Kunststoffschnitteln und Zement, oder Gummiestrich für ihre Innengehege.

In zehn Zoos waren, außer den teilweise aufgerauten Wänden, keine zusätzlichen

Einrichtungen für Beschäftigung oder Selbstpflege der Tiere im Innengehege zu finden. Drei Zoos boten ihren Elefanten zu bestimmten Zeiten Zugang zu einem innen gelegenen Wasserbecken an. In vier Zoos standen den Elefanten Kratzbäume, Plastiktonnen, Reifen, Baumstämme und Felsen zur Verfügung.

Sieben der 17 Zoos besaßen in ihren Innenanlagen eine Fußbodenheizung.

Die tägliche Aufenthaltsdauer der Elefanten in den Innenanlagen während der Sommermonate betrug in drei Zoos weniger als fünf, in weiteren drei Zoos zwischen zehn und zwölf und in zehn Zoos zwischen 15 und 18 Stunden.

Während der Wintermonate gaben die allermeisten Zoos an, die Aufenthaltsdauer im Innengehege von den aktuellen Witterungsbedingungen abhängig zu machen und auf ca. 18 bis 22 Stunden zu erhöhen.

#### **4.2.2 Außengehege**

Die Größe der Außengehege variierte bei den besuchten Zoos zwischen 600 und 18 000 m<sup>2</sup>, was einer Fläche von 150 bis 2770 m<sup>2</sup> pro Tier entspricht.

Fast alle Außengehege besaßen hauptsächlich Sand- oder Erd- und Lehmböden.

14 von 17 Zoos boten ihren Elefanten Zugang zu einem Wasserbecken an. In neun Zoos fanden sich zusätzlich noch Matsch- oder Lehmsuhlen im Gehege.

Möglichkeiten für die Elefanten zum Scheuern und Kratzen, wie z. B. Naturfelsen, Bäume oder Baumstämme waren in 15 Zoos zu finden.

Sieben Zoos besaßen außerdem zusätzliche Beschäftigungseinrichtungen, wie z. B. Autoreifen an Bäumen, Felsen mit kleinen Löchern oder Gittern, in denen Futter versteckt wird oder Plastikbojen zum Spielen.

Einige Zoos experimentierten außerdem mit verschiedenen Methoden der Futterverteilung im Außengehege. So wurden z. B. über das Gelände verteilte Futterautomaten installiert, die nur zu zufälligen Zeiten Futter freigeben, was die Tiere dazu bewegen sollte, diese Plätze häufiger zu frequentieren.

Auch wurde der Bau von Futterkatapulten erwogen, die das Futter weit in das Gehege streuen sollten.

#### **4.2.3 Pflegemaßnahmen**

Die Routinepflegemaßnahmen umfassen vor allem das Waschen und Säubern der Tiere, welches von dem Pflegerteam durchgeführt wird. Auch die eventuell durchgeführten Fußpflegemaßnahmen werden hierzu gezählt.

Die Intensität dieser Waschprozedur variierte stark zwischen einfachem Abspritzen

der Elefanten im Stehen, bis hin zu dreißigminütigen Waschdurchgängen mit Abliegen der Tiere und gründlicher Untersuchung der Problemstellen, wie z. B. der Sohlen.

In elf Zoos wurden die Elefanten täglich, meist mit Hochdruckreinigern, abgespritzt und acht dieser Zoos kombinierten dies mit Bürsten und Schrubben der Elefanten, vor allem im Bereich der Augen, Hinterohren, Schenkelinnenseiten und dem Schwanz. Ein Zoo nutzte „Elefantenseife“ zum täglichen Einschäumen der Tiere, ein anderer normale Seife, aber dies nur sporadisch.

Fußpflege wurde in den besuchten Zoos sehr unterschiedlich gehandhabt. Drei Zoos führten ihre Fußpflegemaßnahmen mehrmals im Monat durch, ein Zoo einmal im Monat, neun Einrichtungen ca. alle drei Monate, zwei Zoos in größeren Abständen als drei Monate bzw. nur wenn absolut notwendig und ein Zoo gar nicht.

Die Fußpflege umfasste in allen Zoos ein Abfeilen der Hufwandecken und ein Abrunden der distalen Hufwandkante. Außerdem wurden teilweise folgende weiteren Maßnahmen durchgeführt: Sohlen abschleifen (zwölf Zoos), Perioplum beschneiden (acht Zoos), Ballenhorn abtragen (sieben Zoos), Hufwand abfeilen (zwei Zoos) und einen von palmar/plantar durchgeführten, halbmondförmigen Schnitt zwischen den einzelnen Zehen (zwei Zoos). Nicht alle Prozeduren wurden bei jeder Fußpflege durchgeführt, z. B. wurde das Ballenhorn meist nur in längeren Abständen abgetragen.

Auch bei dem Abschleifen der Hufsohlen gab es Unterschiede in der Intensität des Abschleifens. Während einige Zoos noch ebenso einen Bodenkontakt der Sohlen behalten wollten, achteten andere darauf, dass mindestens ein Bierdeckel zwischen Sohle und Boden passt. Ein Zoo schliiff die Sohlen in einem nach kaudal geneigten Winkel, so dass die Hufwand und die kraniale Sohle ohne Bodenkontakt waren, während nach kaudal zum Ballen hin der Bodenkontakt hergestellt wurde.

Als Instrumente für die Hufpflege wurden in 14 Zoos manuelle Werkzeuge wie Raspeln, Feilen und Hufmesser benutzt. Drei Zoos nutzten eine Flex zum Trimmen und Schleifen der Hufe. Huffett wurde nur in zwei Zoos zum Einreiben des Perioplums eingesetzt. Ein Zoo nutze Pflanzenöl zur Pflege des Perioplums und der Hufwände. Ein Zoo machte die Erfahrung, dass durch den Einsatz von Huffett an den Hufwänden diese spröde und knochenhart wurden.

Die Hälfte der Zoos bewegte zumindest einen Teil ihrer Elefanten täglich, entweder durch Führen über das Gelände, durch Elefantenreiten oder durch aktive Trainingsprogramme. Diese Bewegungsprogramme wurden für maximal 1 Stunde täglich durchgeführt.

Andere Zoos verteilten Futter auf dem Gelände oder führten ca. 15 bis 30 minütige Trainingsprogramme für tiermedizinische Behandlungen durch.

Zwei Zoos besaßen weder ein Trainings- noch Bewegungsprogramm.



#### 4.2.4 Ankettung

Fünf Zoos gaben an, ihre Elefanten niemals an die Kette zu legen. Sieben Zoos taten dies für einen Zeitraum von unter einer Stunde am Tag, meist im Rahmen der Pflegemaßnahmen. Vier Zoos ketteten ihre Tiere für unter drei Stunden an und ein Zoo für länger als sechs Stunden täglich.

#### 4.2.5 Fortbildung der Tierpfleger

In acht Zoos nahm mindestens der Cheftierpfleger regelmäßig an Veranstaltungen zur Weiterbildung oder zum Erfahrungsaustausch teil. Sechs Zoos gaben an, in Einzelfällen teilgenommen zu haben, während dies in zwei Zoos gar nicht der Fall war. In Deutschland war die mit Abstand am häufigsten genannte Veranstaltung das Elefantenpflөгertreffen, welches im jährlichen Abstand in wechselnden Zoos stattfindet. In den Niederlanden und England wurden am häufigsten die Workshops von Alan Roocroft besucht.

### 4.3 Status der untersuchten Elefanten

#### 4.3.1 Gesundheit der Gliedmaßen

Es wurden individuelle Daten von insgesamt 95 Elefanten erfasst, mit einer besonderen Betonung auf deren Gliedmaßengesundheit.

Zum Zeitpunkt des Besuches zeigten 26 Elefanten (27 %) akute Probleme im Bereich der Gliedmaßen, die eine Behandlung entweder durch Hufpflege oder veterinärmedizinische Versorgung erforderlich machten. 35 (37 %) der Tiere hatten in der Vergangenheit Probleme, aber waren zum Zeitpunkt des Besuches beschwerdefrei. 34 Tiere (36 %) hatten niemals gesundheitliche Probleme im Bereich der Gliedmaßen.

Von den 26 Elefanten mit akuten Problemen, handelte es sich in 16 Fällen um

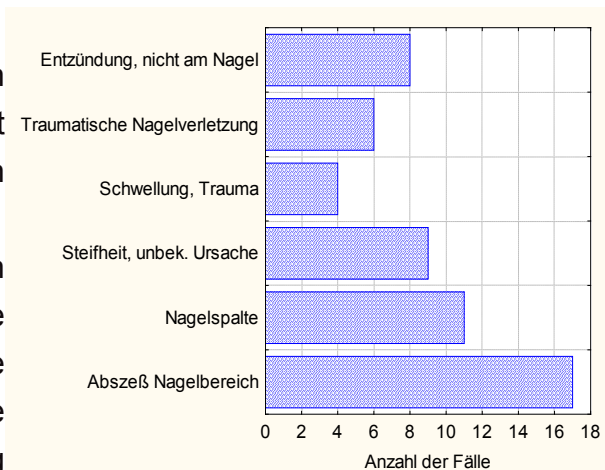


Abb. 33: Häufigkeit des Auftretens bestimmter Fußerkrankungen bei 95 untersuchten Elefanten.

Entzündungen, meist Abszesse, im Bereich der Nägel (Abb. 33). Zwei Tiere litten akut unter Arthrose, zwei weitere unter traumatisch bedingten Gelenksproblemen und zwei Elefanten zeigten Abszesse in anderen Gliedmaßenregionen (Knie und dorso-distal des Karpalgelenks). Bei wiederum zwei Elefanten zeigte sich ein verstärktes Hautwachstum im medialen Bereich der Hinterbeine. Beide Elefanten wurden in der gleichen Herde gehalten und es wurde eine bakterielle Infektion der Haut vermutet.

In der Anamnese wurden insgesamt 55 zeitlich zurückliegende Erkrankungen, welche die Gliedmaßen betrafen, registriert. Auch unter diesen bildeten Abszesse, bzw. entzündliche Vorgänge im Nagelbereich, mit 17 (30,9 %) Fällen und Nagelspalten mit zwölf (20 %) Fällen, die häufigsten Krankheitsbilder. Auch auffällige Steifheiten unklarer Genese kamen mit neun (16,4 %) Fällen recht häufig vor.

Weiterhin wurde ermittelt, wie häufig in der Vergangenheit jeder Elefant im Jahr durchschnittlich erkrankte (Abb. 34). Dies geschah möglichst durch Durchsehen der Krankenakte des Elefanten oder durch die Einschätzung der Pfleger.

Während 62 Elefanten (65 %) seltener als alle zwei Jahre ein Problem im Gliedmaßenbereich ausbildeten, war dies bei 13 Tieren (14 %) ein bis zwei Mal in zwei Jahren, bei 15 Tieren (16%) ein bis zwei Mal jährlich und bei fünf Elefanten (5%) sogar fünf bis 10 Mal im Jahr der Fall.

Wenn man die Erkrankungshäufigkeit gegen das Alter aufträgt, lässt sich erkennen, dass bei den älteren Tieren häufiger Erkrankungen der Gliedmaßen auftraten als bei den jüngeren (Abb. 35).

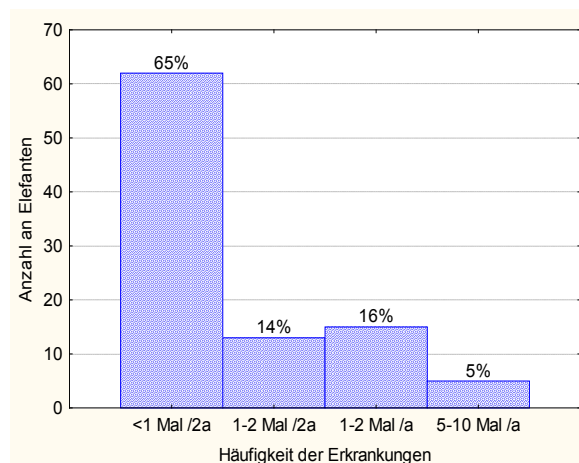


Abb. 34: Häufigkeit des Auftretens von Fußerkrankungen bei einzelnen Tieren

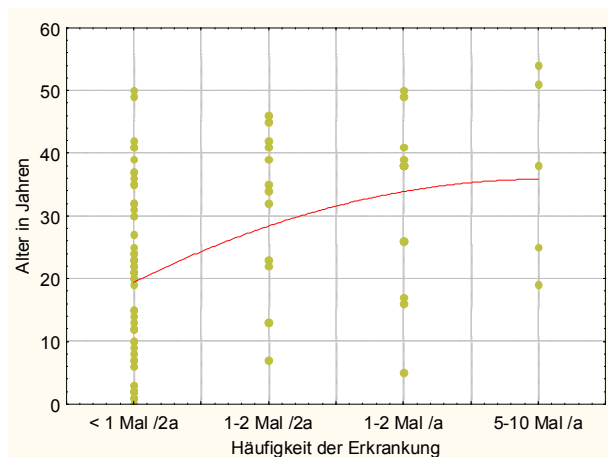


Abb. 35: Fußerkrankungshäufigkeit einzelner Elefanten im Verhältnis zum Alter. Die rote Linie stellt die polynomiale Ausgleichung dar.

#### 4.3.2 Ernährungszustand und Herkunft

30 % (27 Tiere) wurden von ihren Pflegern als adipös, 66 % (60 Tiere) als gut bzw. normal genährt und 4 % als mager bewertet.

Genaue Gewichtsangaben zu erhalten war leider nicht in allen Zoos möglich, da viele Einrichtungen keine Wiegemöglichkeit besaßen.

61 % der Elefanten in den besuchten Zoos stammen direkt aus ihren Herkunftsländern in Asien. 29 % sind Nachzuchten, die in europäischen Zoos geboren wurden und 2 % bzw. 1 % sind in Nordamerika, respektive Israel geboren.

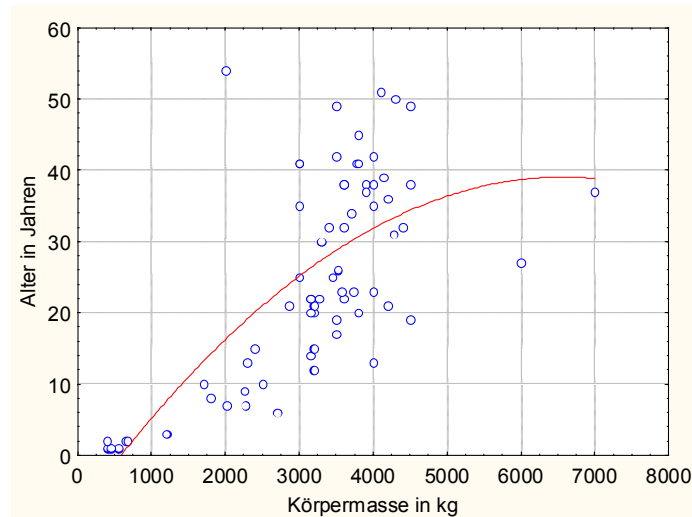


Abb. 36: Körpermasse der untersuchten Elefanten nach Alter. Die rote Linie stellt die polynomiale Ausgleichung zweiten Grades dar.

### 4.3.3 Stereotypien

Zu jedem Elefanten wurde festgehalten, ob dem Zoo Stereotypien dieses Tieres bekannt waren und wenn ja, welcher Art und wie häufig der Elefant diese zeigt. Auch hier konzentrierte sich die Fragestellung auf Stereotypien, welche die Gliedmaßen betrafen.

61 Tiere (64 %) zeigten keinerlei Stereotypien. Acht Elefanten führten stereotype Vor- und Zurückbewegungen durch, 14 Elefanten webten auf den Vorderbeinen seitwärts und sieben Tiere zeigten beide Bewegungsmuster. Außerdem konnten bei fünf Individuen Stereotypen anderer Art beobachtet werden. So z. B. Achten laufen oder unablässiges Abschreiten bestimmter Wege.

Die Häufigkeit des stereotypen Verhaltens wurde in „selten“, „häufig bzw. regelmäßig in bestimmten Stress-Situationen“ und „sehr häufig, auch Situationsunabhängig“ eingeteilt. Hier zeigte sich, dass die meisten Tiere, welche Stereotypien zeigten, dies nur „selten“ taten (18 %). 9 % taten es „häufig“ und 8 % sogar „sehr häufig“.

Beim Auftragen der Ausprägung der Stereotypie gegen die Fußkrankungshäufigkeit

jedes Elefanten zeigt sich nur eine gering höhere Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fußerkrankungen bei stärker ausgeprägten stereotypen Bewegungsmustern (Abb. 38).

Das Alter der Elefanten steigt von Tieren, die keine Stereotypen zeigen, über selten bis hin zu regelmäßig stereotypen Verhaltensmuster zeigende Tiere leicht an, fällt dann aber wieder ab. Es lässt sich kein sicherer Bezug der Stereotypieausprägung zum Alter der Tiere herstellen (Abb. 37).

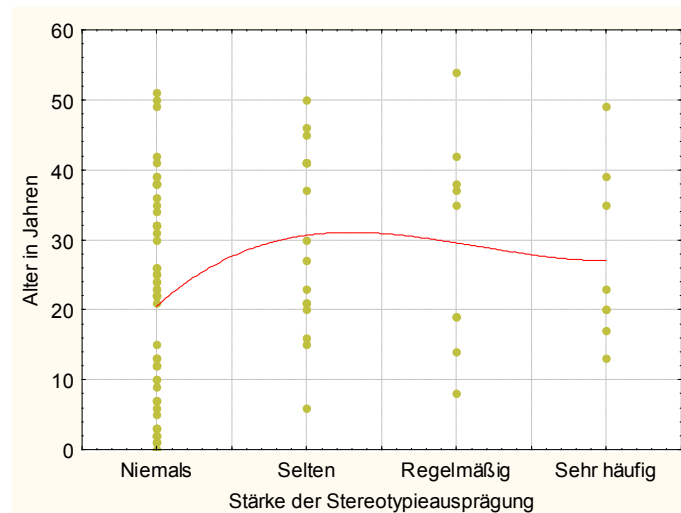


Abb. 37: Häufigkeit der Stereotypieausübung nach Lebensalter. Die rote Linie stellt die polynomiale Ausgleichsgerade dritten Grades dar

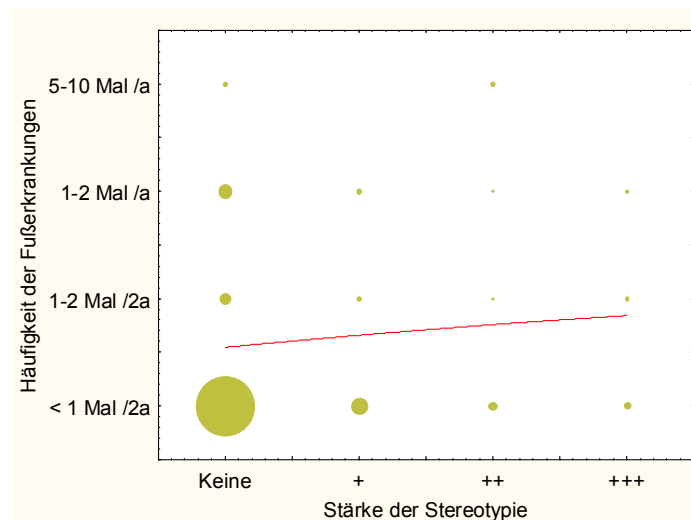


Abb. 38: Stärke der Stereotypie bei Elefanten mit unterschiedlicher Erkrankungshäufigkeit. Die Größe der Kreise ist proportional zur Anzahl der Elefanten. Die rote Linie stellt die einfache lineare Ausgleichsgerade dar

#### 4.4 Einfluss der Haltungsfaktoren auf die Fußgesundheit

Die statistische Analyse der Abhängigkeit des Auftretens thermografisch erstellter

Befunde mit akutem Entzündungscharakter von ausgewählten Haltungsfaktoren ergab nur wenige Erkenntnisse.

Einen signifikanten Einfluss zeigte das Alter des Tieres. Pro Lebensjahr erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, einen entzündlichen Befund an einem der Vorderfüße thermografisch zu diagnostizieren um ca. 4 %. An den Hinterfüßen zeigte sich dagegen kein signifikanter Einfluss.

Ein umgekehrter Effekt stellte sich bei Untersuchungen von Individuen mit Stereotypen dar: Bei Elefanten mit Stereotypieausprägungen (ungeachtet der Stärke der Ausprägung) besteht eine signifikante, an den Vorderfüßen um 66 % und an den Hinterfüßen um 20 % geringere Wahrscheinlichkeit einen thermografisch feststellbaren Entzündungsbefund zu erkennen.

Die anderen untersuchten Haltungsfaktoren, Fußbodenheizung, Herkunft, Herdengröße, Aufenthaltsdauer im Außengehege zur Sommerzeit, Fußerkrankungshäufigkeit und Fußpflegeintervall, zeigten keine signifikanten Einflüsse auf das Befundungsergebnis.

### 4.5 Druckmessungen

Die Druckmessungen wurden bei zwei Besuchen bei insgesamt drei Elefanten durchgeführt. Da dies Erstversuche waren und nur an zwei Untersuchungsterminen stattfinden konnten, können hier nur erste, rein technische Erfahrungen wiedergegeben werden.

Als erste Analyse wurden die Drücke unter den Füßen, der Umfang der Kontaktfläche mit dem Boden und die registrierten Maximaldrücke bei drei- und bei vierbeinigem Stehen verglichen.

Deutlich zu erkennen ist der wesentlich niedrigere auf den Hinterfüßen lastende Druck, welcher bei Messung mit allen vier Beinen auf dem Boden zwischen 45 und 59 % geringer ist als der auf den Vorderfüßen.

Dreibeiniges Stehen erhöht den Druck auf den Füßen wesentlich – bei Ratna um 30 % vorn und 33 % hinten und bei Kanaudi vorn um 12 % und hinten um 96 % (Abb. 39 und 40).

In Abbildung 41 und 42 wird die Fläche des Fußes, welche Druck auf die Sensormatte ausgeübt hat, dargestellt. Diese Fläche nimmt bei dreibeinigem Stehen zu. Ratna zeigte hier an den Vorderfüßen eine Flächenvergrößerung von 11 %, an den Hinterfüßen um 17 %. Bei Kanaudi vergrößerte sich die Fußfläche vorn um 16 % und hinten um 33 % bei dreibeinigem Stehen.

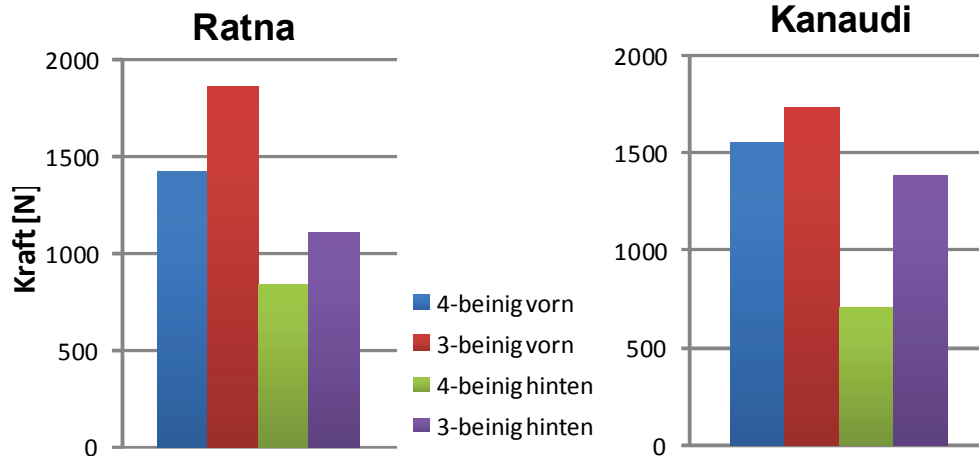


Abb. 39 und 40: Kraft in N, welche an den Vorder- und Hinterfüßen von der Matte registriert wurden. 4-beinig: Alle Füße auf dem Boden, 3-beinig: Bein der Gegenseite angehoben. Die Balken repräsentieren jeweils die Mittelwerte der linken und rechten Seite.

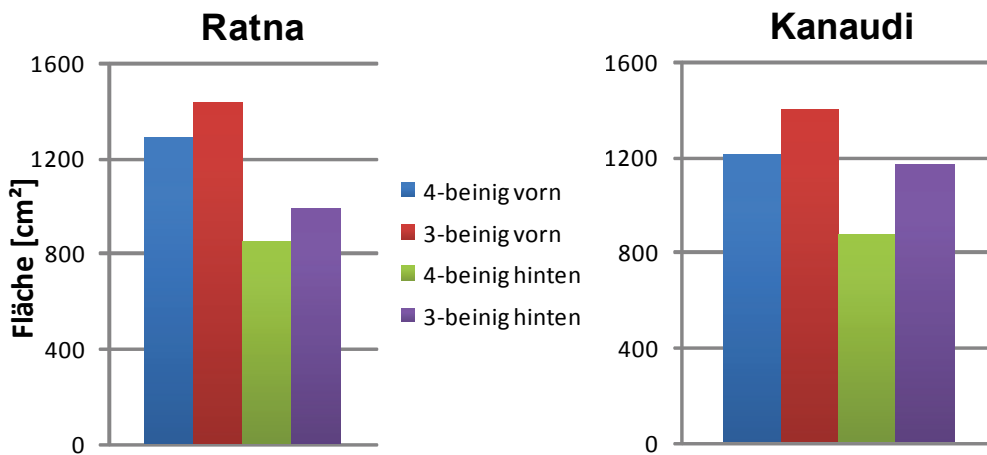


Abb. 41 und 42: Durch die Sensormatte registrierte Fläche in cm<sup>2</sup>, auf welche an den Vorder- und Hinterbeinen Drücke wirkten. 4-beinig: Alle Füße auf dem Boden, 3-beinig: Bein der Gegenseite angehoben. Die Balken repräsentieren jeweils die Mittelwerte der linken und rechten Seite.

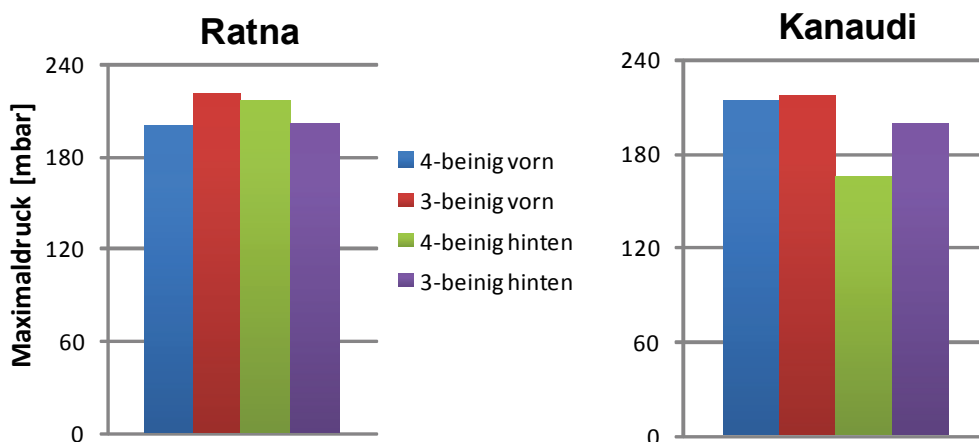


Abb. 43 und 44: Maximaldruck in mBar, welcher an den Vorder- und Hinterfüßen von der Matte registriert wurden. 4-beinig: Alle Füße auf dem Boden, 3-beinig: Bein der Gegenseite angehoben. Die Balken repräsentieren jeweils die Mittelwerte der linken und rechten Seite.

Die Sensormatte besteht aus 496 Sensoren, die jeweils die auf ihnen lastenden Drücke einzeln registrieren können. Die Darstellung in Abbildung 43 und 44 zeigt den maximal gemessenen Druck an den Einzelsensoren im Vergleich von vierbeinigem mit dreibeinigem Stehen an. Die Spitzenbelastung einzelner Sensoren nimmt dabei bei Ratna am Vorderfuß um 10% zu und am Hinterfuß um 5 % ab, wenn sie auf drei Beinen stehen muss. Kanaudi zeigte eine Spitzenbelastungszunahme von 2,8 % vorn und von 24 % am Hinterfuß.

In den folgenden Bildern werden die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten der Druckmessungsergebnisse gezeigt. Anhand dieser Bilder können Einsichten in die Druckverteilung unter dem Fuß gewonnen werden.

Abb. 45 zeigt eine 2D-Ansicht der Druckverhältnisse an einem Vorderfuß von Ratna, in Abb. 46 ist dieselbe Messung als 3D-Plot dargestellt. Farbverläufe von grau über grün bis rot korrelieren mit ansteigenden Druckwerten. Beide Darstellungen sind so ausgerichtet, dass die rechte Bildseite nach kranial deutet.

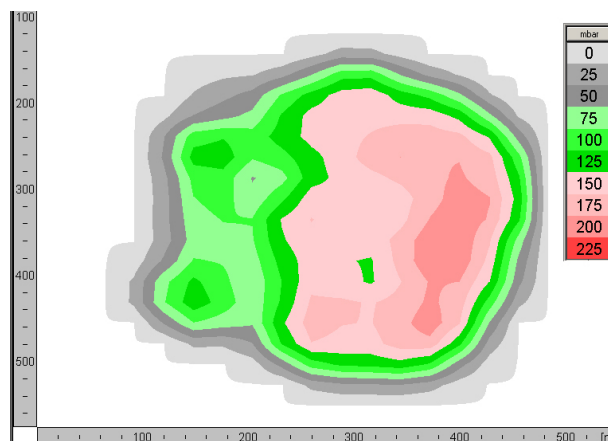


Abb. 45: 2D-Isobaren Ansicht von Ratnas Vorderfuß. Rechts ist kranial.

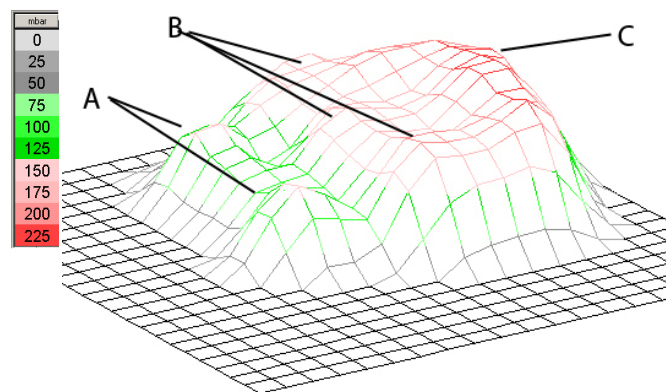


Abb. 46: 3D-Plot der Druckverhältnisse an Ratnas Vorderfuß. Rechts ist kranial.

Deutlich lässt sich hier erkennen, dass kranial eine Fläche mit recht hohen Druckwerten besteht, die sich leicht halbkreisförmig um das vordere Drittel des Fußes erstreckt und vermutlich mit der Lage der Sohlenfläche oder des kranialen Ballenhorns korreliert. Im kaudalen Abschnitt sind klar zwei Druckpfeiler medial und lateral zu erkennen. Bei Betrachtung der 3D-Ansicht kann man das Druckabbild noch etwas detaillierter erkennen. Der Druck steigt von kaudal nach kranial an. Am weitesten kaudal zeigen sich zwei Druckpfeiler (A), zur Mitte des Fußes hin finden sich Druckspitzen an drei nebeneinander liegenden Stellen (B) und kranial besteht eine Leiste mit den höchsten Drücken dieser Messung (C).

Eine weitere Versuchsreihe wurde mit einem mehrfach gefaltetem Bettlaken durchgeführt, welches zwischen Sensormatte und Fußboden eingebracht wurde, um

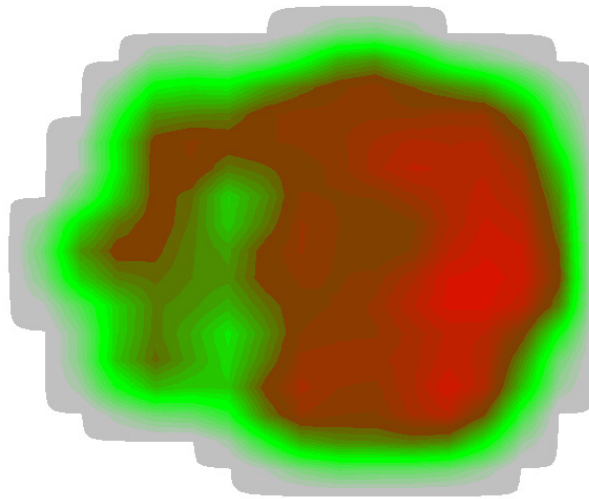


einen weicheren, abfedernden Untergrund zu simulieren.

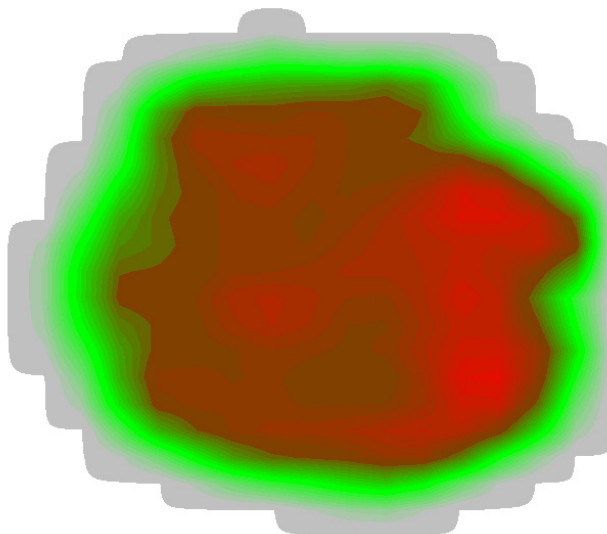
Die hier abgebildeten Messungen eines Vorderbeines von Ratna sind bei dreibeinigem Stehen entstanden, um eine möglichst gleichbleibende Belastung des Fußes bei beiden Aufnahmen zu gewährleisten.

Bei Abb. 47 zeigen sich wieder die Druckleiste am kranialen Teil des Fußes und zwei Druckpunkte im kaudalen Drittel.

Nach Unterschieben des abfedernden Lakens veränderte sich das Druckbild (Abb. 48). Generell sind die allgemein gemessenen Druckwerte etwas niedriger als bei Messungen auf bloßem Betonboden. Die Druckpunkte sind noch deutlich zu erkennen, sind aber in ihrem Ausmaß verringert. Die kraniale Druckleiste ist stark abgeschwächt und hat sich mehr zu drei Druckpunkten hin verändert.



*Abb. 47: Druckverteilungsmuster an Ratnas Vorderfuß bei dreibeinigem Stehen auf Betonboden*



*Abb. 48: Druckverteilungsmuster an Ratnas Vorderfuß bei dreibeinigem Stehen auf mehrfach gefaltetem Bettlaken*



## **5 Diskussion**

Die vorliegende Studie soll einen Beitrag zum Verständnis der Fußgesundheitsproblematik Asiatischer Elefanten in Zoos leisten und legt dabei ein besonderes Augenmerk auf Grundlagenuntersuchungen der physiologischen Wärmemuster der Elefantenfüße mittels Thermografie, um einen Grundstein für routinemäßige thermografische Untersuchungen zu legen und eine exaktere, objektivere Befundung zu erlauben. Weiterhin wurden erste pedografische Druckverteilungsmessungen unter dem Elefantenfuß durchgeführt und Daten zur Elefantenhaltung und -gesundheit in europäischen Zoos gesammelt und ausgewertet.

### **5.1 Auswahl der Zoos**

Es wurden nur Zoos mit Asiatischen Elefanten besucht, da sich die Studie auf diese Spezies beschränken sollte. Die Auswahl der Zoos wurde aufgrund der Erreichbarkeit und der Anzahl der gehaltenen Elefanten getroffen. Zoos mit weniger als drei Elefanten wurden nicht in Erwägung gezogen, es sei denn ein Besuch wurde vom jeweiligen Zoo gewünscht und die Fahrtkosten wurden erstattet. Manche Zoos konnten nicht besucht werden, da entweder die Herde aufgrund von Neuzugängen und Gehegeänderungen zu nervös für die Untersuchungen war (Köln) oder leider kein geeigneter Untersuchungstermin gefunden werden konnte.

Einige Zoos in Deutschland wurden mehrmals besucht, um Krankheitsverläufe zu dokumentieren oder Therapieerfolge zu verifizieren.

Für die Druckmessungen wurde der Zoo Münster ausgewählt, da die Herstellerfirma der Sensormatte dort ihren Firmensitz hat und die Elefanten gut trainiert waren. Eine zweite Untersuchung wurde im Zoo Leipzig durchgeführt, da der Zoo bereit war, die Anfahrtkosten des Technikers aus Münster zu erstatten.

Einige Elefanten konnten in einem thailändischen Elefantencamp makroskopisch untersucht werden. Leider konnte dort keine thermografische Untersuchung durchgeführt werden, da die Thermokamera nicht nach Thailand ausgeführt werden durfte. Somit waren diese Untersuchungen für die thermografische Datenerfassung wertlos und konnten nur im Zusammenhang mit den Auskünften des thailändischen Campleiters über die Häufigkeit von Fußkrankungen bei seinen Elefanten als Vergleich zu den hiesigen Zoothaltungssystemen dienen.

## 5.2 Thermografische Untersuchungen

### 5.2.1 Material und Methoden

Für die thermografischen Aufnahmen wurde die Thermokamera AGEMA PHV 590 genutzt, da diese über die zu diesem Zeitpunkt höchste Auflösung verfügte und der Stadt Frankfurt zur Verfügung stand.

Es wurde bei Voruntersuchungen festgestellt, dass die gemessenen Temperaturwerte nach Einschalten der Kamera und nach den in regelmäßigen Abständen von der Kamera automatisch durchgeführten Abgleichsprozeduren leicht variierten. Dies wurde auch von einem Techniker der Herstellerfirma bestätigt und er empfahl, die Kamera ca. 10 Minuten vor Beginn der Untersuchungen einzuschalten, damit sie die Betriebstemperatur erreichen könne. Die leichten Veränderungen im Thermobild nach den Abgleichsprozeduren konnten vom Techniker nicht nachvollzogen werden, sicherheitshalber wurde trotzdem nach einem Abgleich jeweils 20 - 30 Sekunden gewartet, bevor eine weitere Aufnahme erstellt wurde. Es wird vermutet, dass durch diese Bemühungen die von der Herstellerfirma angegebene Messgenauigkeit von  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  leicht gesenkt werden konnte.

In dieser Studie wurde eine digitale Spiegelreflexkamera mit einer Auflösung von 3000 x 2000 Pixel für die fotografischen Aufnahmen genutzt. Eine genaue, nachträgliche Begutachtung der Füße war damit gewährleistet. Nachteilig wirkte sich allerdings der Umstand aus, sowohl die Thermokamera als auch die Fotokamera umgehängt zu haben und bei jedem Bild schnell die Kamera wechseln zu müssen, um ein zeitnahes Bild zu erstellen. Alle Innenaufnahmen wurden mit Blitzlicht aufgenommen.

Die Kamera verfügte über ein Headset, mit dem Sprachkommentare zu jedem Bild aufgenommen werden konnten, welche Informationen über das untersuchte Tier und das auf dieser Aufnahme zu erkennende Bein enthielten. Die Verwendung eines Headsets ist unerlässlich, da ansonsten eine exakte Zuordnung der Thermo-Aufnahmen zu einem späteren Zeitpunkt sehr unzuverlässig ist. Auch bei strikter Beachtung der Untersuchungsreihenfolge kam es immer wieder vor, dass eine Aufnahme vorgezogen wurde, da das Tier für diesen Blickwinkel gerade günstig stand. Falls dann kein Sprachkommentar darauf hinweist, ist eine falsche Zuordnung des Thermobildes nicht sicher zu vermeiden.

Generell wurde versucht, in den jeweiligen Zoos so viele Elefanten wie möglich zu untersuchen, um aussagekräftige Daten zu erhalten und ein allgemein gültiges Wärmeprofil zu erstellen. Es wurde also keine Vorauswahl der zu untersuchenden Elefanten getroffen.

Das erstellte Untersuchungsschema erwies sich dabei als sehr praktikabel, indem es dem Untersucher erlaubte, mit einer einzigen Umrundung des Tieres alle nötigen Aufnahmen zu erstellen. Dieses Schema half recht zuverlässig, dabei einzelne Blickwinkel nicht zu vergessen und erlaubte eine zügige, den Elefanten minimal beunruhigende Untersuchung.

Elefanten in „protected contact“ Haltungen und einige Jungtiere und Bullen ließen sich allerdings nur mit Kompromissen im festgelegten Untersuchungsablauf untersuchen. In diesen Fällen war es häufig nicht möglich, Aufnahmen aus der gewünschten Distanz von ca. 1,5 Metern anzufertigen. Vor allem in „protected contact“ Haltungen waren die Untersuchungsdurchgänge teilweise etwas zeitintensiver, da die Aufnahmen von derselben Position gemacht werden mussten und sich stattdessen der Elefant drehen musste, um alle erforderlichen Aufnahmen zu erstellen.

Thermografische Aufnahmen der Sohlen wurden anfangs erwogen und auch durchgeführt. Da das Ziel der Studie allerdings vor allem darin bestand, physiologische Wärmeprofile zu erstellen, die Sohlen aber zum einen mit einer mal mehr mal weniger dicken Hornschicht überzogen sind und zum anderen ständig mit dem Fußboden in Berührung stehen und meistens hätten gereinigt werden müssen, wurde davon Abstand genommen. Alle anfangs erstellten Aufnahmen der Sohlenflächen stellten ein gleichmäßiges Wärmeprofil dar, welches sich der Bodentemperatur annäherte.

Die vor den Untersuchungen an den jeweils rechten Gliedmaßen aufgebrachte Kreidemarkierung unterhalb der Karpal bzw. Tarsalgelenke erleichterte eine Identifikation des Blickwinkels auf den fotografischen Aufnahmen ungemein. Die ursprünglichen Bedenken, dass die Kreidemarkierung auf den Thermografieaufnahmen zu erkennen wäre und eventuell die Ergebnisse verfälschen könnte, bestätigten sich nicht.

Teilweise mussten die Elefanten für die Untersuchungen an zwei Beinen angekettet werden. Die Ketten erlaubten in den meisten Fällen keine Bewertung des subkarpalen Bereichs und manchmal auch nicht der Zehenareale oberhalb der Nägel.

In der nachträglichen Auswertung wurden zuallererst die Füße in herkömmlicher Befundungsweise auf Entzündungsanzeichen untersucht, d. h. es wurde nach auffälligen Wärmefeldern geschaut und es wurden Vergleiche mit den entsprechenden Aufnahmen der Gegenseite desselben Elefanten angestellt. Die Befunde wurden in Artefakte, generelle Erwärmung ohne Entzündungsanzeichen und vermutliche Entzündungen in ihrer Ausprägung in drei Stärken eingeteilt. Diese herkömmliche Befundung ist sicherlich als hochsubjektiv zu bewerten, da sich gering- und mittelgradige Entzündungen teilweise nur schwer als solche erkennen

lassen, jeder Elefant ein leicht unterschiedliches Wärmespektrum zeigte und der konkrete Befund sicherlich auch stark von der Wahrnehmung und der Erfahrung des Untersuchers abhängt.

Der Zweck dieser Befundung war, alle Zehen und Gelenksregionen zu identifizieren, die kein unauffälliges, mit der Gegenseite korrelierendes Wärmebild zeigten und somit von der Datenauswertung zur Untersuchung des physiologischen Wärmeprofiles der Elefantenfüße auszuschließen waren.

Diese grundsätzliche Einteilung in „Auffällig“ und „Nicht Auffällig“, lässt sich relativ objektiv durchführen, in dem u. a. die jeweiligen Bereiche der Beinpaare direkt miteinander verglichen werden. Trotzdem wird es nicht zu vermeiden gewesen sein, eine gewisse Zahl eigentlich gesunder Füße als falsch positiv befunden und damit aus dem zur Analyse des physiologischen Wärmeprofiles genutzten Datensatz entfernt zu haben.

Grundsätzlich stellt sich natürlich die Frage, ob ein nicht Vorhandensein von Auffälligkeiten nach Untersuchung mit einer relativ neuen Diagnosetechnik ausreicht, einen Normalbefund auszusprechen. Natürlich wurde auch auf das Vorhandensein herkömmlicher klinischer Anzeichen, wie Lahmheit, Schonung eines Beines, Wunden und Ähnliches, geachtet und die Meinung der Pfleger zur aktuellen Gesundheit des Tieres in die Befundung mit einbezogen; es wurden aber routinemäßig keine Röntgenbilder erstellt, um z. B. eventuelle arthrotische Veränderungen zu erfassen, oder Entzündungsanzeichen im Blut überprüft. Diese Maßnahmen wären sicherlich hilfreich gewesen, die thermografisch als unauffällig identifizierten Normalbefunde zu untermauern, ließen sich aber aufgrund des finanziellen und zeitlichen Rahmens nicht durchführen.

Um eine objektivere Befundung der Thermografieergebnisse zu gewährleisten, wurden bestimmte Messbereiche am Elefantenfuß festgelegt, die sich an den anatomischen Strukturen orientierten.

Drei Messbereiche wurden an jedem Huf definiert - Hufwand, Kronsaum und Zehenregion - und jeweils ein Messbereich für die kraniale, laterale und mediale Ansicht des subkarpalen/-tarsalen Bereichs und des Karpus/Tarsus jedes Fußes.

Eine Schwierigkeit in der Auswertung, die auch schon von SCHULZE (2004) festgestellt wurde, war die korrekte Identifizierung und Umgrenzung dieser Bereiche im Thermobild. Da die thermografischen Aufnahmen technisch bedingt nur eine geringe Auflösung boten und sich die Areale manchmal nicht sicher aufgrund der Oberflächenstruktur im Wärmebild voneinander trennen lassen, liegt hier sicherlich eine nicht auszuschließende Fehlerquelle.

Um diese etwas einzugrenzen, wurden die Areale proportional zum Ausmaß des meist gut zu erkennenden Nagelhorns definiert: Die Kronsaumregion umfasste 1/4

bis 1/5 des proximalen Nagelhorns, die Hufwandregion den restlichen Anteil und die Zehenregion das Hautareales proximal des Horns in dessen Breite und in dessen Höhe.

Bei einigen Tieren mit sehr niedriger Hufwand war es nur mit Hilfe einer Vergrößerung des Thermobildes möglich, die jeweilige Kronsaumregion genau zu definieren, welche in diesen Fällen meist nur einige wenige Bildpunkte mit Messwerten enthielt.

## **5.2.2 Umgebungseinfluss**

Es wurde festgestellt, dass starke Temperaturunterschiede im Wärmeprofil zwischen einzelnen Elefanten vorkommen und diese teilweise auch von den klimatischen Bedingungen während der Untersuchung abhängen.

Vor allem die Temperatur im Untersuchungsraum übt hier einen großen Einfluss aus, was frühere Untersuchungen bestätigt (PALMER 1983). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass wir mittels Thermografie immer nur einen Einblick auf die Oberflächentemperatur eines Objektes haben. Da die Haut u. a. aber auch als Isolierschicht des Körpers wirkt, um die Homoiothermie des Körperinneren zu erhalten, ist hier bis zu einem gewissen Grad natürlich ein Einfluss der Außentemperatur gegeben. Je stärker die Haut die Funktion einer Isolierschicht ausgebildet hat, desto mehr nähert sich ihre Oberflächentemperatur der ihrer Umgebung an, wie am Beispiel des stark wärmeisolierenden Blubbers bei marinen Tieren gezeigt werden konnte (WILLIAMS u. WORTHY 2002).

Die hier gemessene, verhältnismäßig starke Erhöhung der Hauttemperatur mit Anstieg der Umgebungstemperatur korreliert im weiteren auch mit der Beschreibung der Körperkerntemperaturregulierung durch PFLUMM (1989): Homoiotherme endotherme Lebewesen können ihre auf konstanter Temperatur gehaltene Kerntemperaturzone je nach Außentemperatur vergrößern und verkleinern. So wird bei niedrigen Temperaturen die Kerntemperaturzone wesentlich verkleinert und die Durchblutung in peripheren Regionen gedrosselt, um den Energieverbrauch zu senken, während es bei höheren Temperaturen zu einer Erweiterung der Kerntemperaturzonen und einer peripheren Vasodilatation kommt. PALMER (1983) beobachtete einen geringeren Einfluss der Umgebungstemperatur auf die thermografisch erfassten Areale je weiter proximal am Pferdebein gemessen wurde. Weiterhin kann natürlich auch eventuell vorhandenes Fell als Isolierung dienen und bei geeigneter Dichte eine diagnostische Anwendung der Thermografie verhindern (CENA u. CLARK 1973, CLARK u. CENA 1977).

Bei Elefanten finden wir aber eine nur spärliche Behaarung und trotz eines gewissen gefundenen isolierenden Effektes der Haut können hierbei Aussagen über das

Wärmeprofil subdermaler Strukturen getroffen werden.

Der hier gemessene Einfluss der Temperatur von 0,5 °C Hauttemperaturerhöhung pro 1 °C Umgebungstemperaturerhöhung ist allerdings nur für Umgebungstemperaturen im Bereich von 17,5 °C bis 23 °C gültig. Bei höheren beziehungsweise niedrigeren Temperaturen wurden keine Untersuchungen durchgeführt, da versucht wurde, die Untersuchungen in einigermaßen ähnlich klimatisierten Innenräumen durchzuführen, um zu vermeiden, dass der Außentemperatureinfluss ab einer gewissen Stärke das Wärmeprofil verfälscht.

Es wird vermutet, dass sich bei Untersuchungen mit höheren Umgebungstemperaturen die Hauttemperatur weiter der Körperkerntemperatur annähert, in ihrem Verlauf aber abflacht.

Im Gegensatz dazu stellen sich die Temperaturen von Entzündungsprozessen allerdings unabhängig von der physiologischen Temperaturregulation dar und sind für Einflüsse durch die Umgebungstemperatur weniger anfällig (TURNER 1991, WALDSMITH u. OLTSMANN 1994).

Dies könnte bei der Entzündungsdiagnostik Probleme aufwerfen, da der Temperaturunterschied zwischen gesunden Bereichen und den entzündlich veränderten bei höheren Umgebungstemperaturen immer geringer werden wird und eine Identifikation durch die Kontrastverminderung erschweren könnte. Auch TUNLEY u. HENSON (2004) fanden bei Pferden, die sich vollkommen an eine höhere Umgebungstemperatur im Untersuchungsraum angepasst hatten, keinen Unterschied im Wärmemuster, mutmaßten aber, dass diese höheren Temperaturen den Kontrast zu Entzündungsherden verringern und somit eine Diagnose erschweren würden.

Auch ein Anstieg der Luftfeuchte führt zu einem Anstieg der gemessenen Oberflächentemperaturen, auch wenn er vergleichsweise geringer ausfällt als bei der Umgebungstemperatur.

Die relative Luftfeuchte gibt den Sättigungsgrad der Luft mit Wassermolekülen an. Bei niedriger Luftfeuchte fällt es der menschlichen Haut leichter, durch Verdunstung die Körpertemperatur zu regulieren, da die Luft noch große Sättigungskapazitäten für Wasser enthält. Bei hohen Luftfeuchtigkeitswerten kann die Luft kaum noch zusätzliches Wasser aufnehmen und es kann zu einem Hitzestau kommen (TIPLER 1994, KEUL 1996).

Dies könnte auch im Falle der Asiatischen Elefanten zutreffen. Es ist zwar nicht bekannt, dass die Tiere über die Möglichkeit verfügen, auch an den Beinen ihre Temperatur über Verdunstung zu regulieren, doch eine Behinderung der Temperaturregulation an den Ohren und anderer thermischer Fenster der Elefanten könnte eventuell auch einen Einfluss auf die peripher auftretenden



Oberflächentemperaturen haben und zu der in der Studie gefundenen Temperaturerhöhung führen.

Es ist daher empfehlenswert, thermografische Untersuchungen bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit durchzuführen, um eine klarere Identifikation der Entzündungsherde zu gewährleisten.

Der theoretische Einfluss der Umgebungstemperatur und der Luftfeuchte auf die Strahlentransmission in der Atmosphäre zwischen Objekt und Kamera kann bei der Interpretation vernachlässigt werden, da zum einen der Abstand zum Objekt während der Untersuchungen sehr gering war, und zum anderen diese Einflüsse durch die Kamerasoftware herausgerechnet wurden (FLIR 1998).

Diese Einwirkungen der Umgebungsbedingungen als auch der individuellen physiologisch-anatomischen Eigenheiten eines jeden Elefanten auf das Wärmeprofil haben Konsequenzen bei der Auswertung der Thermogramme.

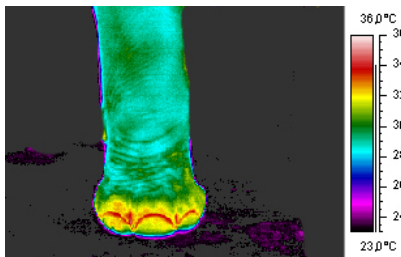


Abb. 49a: Elefant 1,  
T=19,5 °C, 70% Luftfeuchte

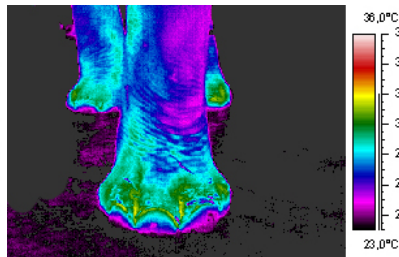


Abb. 49b: Elefant 2,  
T=18,0 °C, 60% Luftfeuchte

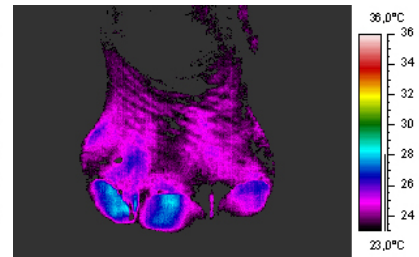


Abb. 49c: Elefant 3,  
T=15 °C, 40% Luftfeuchte

Bilder 49a bis c zeigen kraniale Aufnahmen eines Vorderfußes dreier verschiedener Elefanten ohne bekannte Beschwerden und aus drei unterschiedlichen Zoos.

Für alle drei Bilder wurden hier zu Vergleichszwecken die Temperaturskalen auf einen identischen Bereich von 23 °C bis 36 °C eingestellt.

Dies führt im Fall der Bilder 49b und c zu einer suboptimalen Farbverteilung und wäre nicht zur visuellen Auswertung geeignet, da Teilbereiche der Füße - in Bild 49b Teile der Hufnagelwand und in Bild 49c große Flächen des Karpalbereiches und der Zehen – Temperaturwerte unterhalb des Skalenminimums aufweisen und folglich schwarz dargestellt werden.

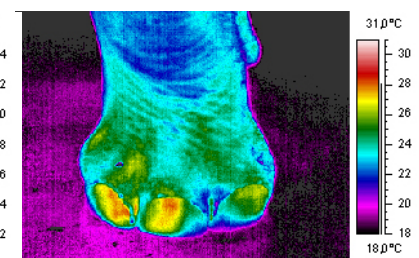
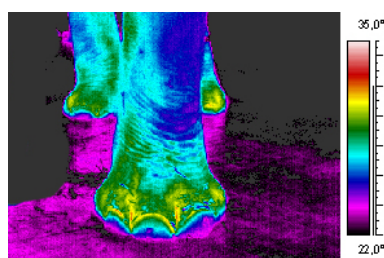
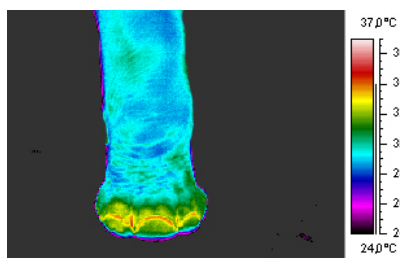


Abb. 50a bis c: Elefant 1(links), 2(mittig) und 3(rechts) mit optimierter Temperaturskala



Bilder 50a bis 50c zeigen dieselben Aufnahmen wie oben, diesmal allerdings mit optimierten Temperaturskalen unter Beibehaltung einer Temperaturspanne von 13 °C. Auch in Bild 50b und 50c lassen sich nun alle Bereiche des Fußes erkennen. Die absoluten Temperaturwerte bleiben natürlich durch die Veränderung der Temperaturskalen unbeeinflusst. Für die visuelle Auswertung ist daher eine korrekt gewählte Temperaturspanne der Skala immens wichtig.

Weiterhin kann man feststellen, dass aufgrund dieser großen absoluten Temperaturunterschiede zwischen Individuen, eine Auswertung von Thermografiebildern mittels der Temperaturdifferenzen zwischen definierten Bereichen, also der Wärmemuster, wesentlich aussagekräftiger ist als reine Absoluttemperaturangaben. Dies deckt sich mit den Ergebnissen vorheriger Studien (HALL et al. 1987, VERSCHOOTEN et al. 1997, SCHULZE 2004, TUNLEY u. HENSON 2004) und wird bei der Besprechung der Wärmeprofile noch verdeutlicht.

Aufgrund dieser starken individuellen Unterschiede in der Temperaturlage zwischen den Wärmemustern der Elefanten ist die Erstellung eines auf einen bestimmten Temperaturbereich fixierten, allgemein gültigen Wärmemodells eines Elefantenfußes ungemein schwierig.

Allerdings sind die Differenzwerte, d. h. die relativen Temperaturunterschiede und somit das Wärmemuster der einzelnen in dieser Studie gemessenen Areale zueinander am selben Individuum recht stabil. Das bedeutet, es ist möglich ein physiologisches Wärmeprofil für die gemessenen Bereiche zu erstellen, muss dieses allerdings auf der Temperaturachse dem Individuum und den Untersuchungsbedingungen anpassen.

### 5.2.3 Fußregionen

Die Temperaturen an den **Hufwänden** der Vorderbeine zeigen einen leicht parabelförmigen Verlauf von Zehe I zu Zehe V. Während von Zehe I zu II ein Sprung von 1 °C zu messen war, lagen die Temperaturen der restlichen Zehen dichter beisammen und variierten um maximal 0,3 °C zwischen den Zehenpaaren II/III und IV/V. Die höchsten Temperaturen fanden sich bei Zehe III und IV.

Auch an den Hinterbeinen ist dieser kurvenförmige Verlauf zu erkennen und auch hier finden sich die niedrigsten Temperaturen am medial gelegenen Zeh II, während die höchsten Temperaturen bei Zeh IV (0,9 °C über der von Zeh II) gemessen wurden.

Diese Messwerte spiegeln in etwa das makroskopische Ausmaß der Hufwände wieder und könnten Aufschluss über die physiologische Belastung der einzelnen

Zehen geben. Aufgrund seiner Lage lässt sich bei Zeh I des Vorderfußes vermuten, dass er keinen großen Beanspruchungen ausgesetzt ist. Dies könnte zu einer verminderten Durchblutung des Zehs führen und die geringeren Temperaturen erklären. Die kranial positionierten Zehen II, III und IV dagegen werden durch verschiedenste Bewegungsmuster (Laufen, Stoßen, Graben) wesentlich stärker belastet. Vermutlich trifft dies auch auf Zeh V zu, der lateral am Fuß gelegen, sich makroskopisch meist vor allem durch eine große Breite auszeichnet, und daher schon allein durch seine im Vergleich zu Zeh I wesentlich größeren Ausmaße einer höheren Beanspruchung standhalten muss.

Proximal der Hufwandregion befindet sich der **Kronsaum**, welcher sich als die wärmste Region jeder Zehe darstellt. Im Vergleich mit den Temperaturen der jeweils korrespondierenden Hufwand liegen die Temperaturen des Kronsaums am Vorderfuß je nach Zeh um 0,7 °C bis 0,9 °C höher. Am Hinterfuß fällt der Unterschied minimal geringer aus mit Temperaturunterschieden zwischen 0,8 °C an Zeh II bis 0,3 °C an Zeh V.

Die Wärmeunterschiede in den Kronsaumregionen der einzelnen Zehen folgen in ihrem Verlauf der Kurve der Hufwandtemperaturen. Dies ist sicherlich der identischen Belastung und Durchblutung beider Regionen desselben Zehs zuzuschreiben.

Die höheren Temperaturen im Kronsaumbereich hängen vermutlich mit der von Benz festgestellten abnehmenden Dicke der Hornwand nach distal zusammen. So fand er am proximalen Elefantenhuf eine Hornwanddicke von ca. 1,7 mm, während diese distal bis zu einer Dicke von 9,2 mm zunimmt (BENZ 2005). Dadurch kann die Wärme der blutgefäßreichen Lederhaut im Kronsaumbereich einfacher die Hornwand durchdringen, als im distalen Huf.

Im Vergleich mit den thermografischen Ergebnissen an Pferden (SCHULZE 2004), ist hier ein bemerkenswerter Unterschied zu erkennen. Bei den von SCHULZE untersuchten gesunden Pferden wurde zwischen Kronsaum und Tragrand der Hufe ein Temperaturgefälle von 8 °C bis 8,6 °C gemessen. Also ein um mehr als den Faktor zehn höherer Wert. Einen Teil dieses großen Unterschiedes mag der unterschiedlichen Festlegung der Kronsaumregion in beiden Studien zuzurechnen sein. Schulze konnte den Pferdehuf in vier einzelne, von proximal nach distal aufeinander folgende Areale unterteilen, während in dieser Studie aufgrund der Elefantenhufgröße und Aufnahmeentfernung nur eine zweifache Unterteilung möglich war. Dies geht sicherlich zu Lasten des maximalen Temperaturkontrastes.

Eventuell liegt die Ursache dieses großen Unterschiedes aber auch in der wesentlich stärkeren Tragefunktion des Pferdehufes im Vergleich zu den kleineren und nur dorsal am Fuß positionierten Elefantenhufen.

Die einzelnen **Zehenareale** zeigen keinen so charakteristischen Temperaturverlauf von medial nach lateral wie die Hufwand- und Kronsaumregion. Die Temperaturen liegen meist auf Höhe der Hufwandtemperatur und erreichen maximal an innerster und äußerster Zehe Temperaturen des jeweiligen Kronsaums. Die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Zehenarealen sind am Hinterfuß mit maximal 0,8 °C etwas ausgeprägter als am Vorderfuß, liegen aber ansonsten zwischen 0,1 °C und 0,5 °C, sind also wesentlich geringer als bei Kronsaum und Hufwand.

Hier spielen sicherlich die nicht mehr strikt voneinander abgegrenzten anatomischen Strukturen der Zehenareale eine Rolle. Während die einzelnen Hufe klar voneinander getrennt sind, ist die Zehenarealregion nur eine Definition dieser Studie und den Einflüssen benachbarter Gewebsregionen ausgesetzt.

Dennoch ist anhand der Temperaturen ein Unterschied zu den weiter proximal liegenden, subkarpalen, bzw. subtarsalen Regionen zu erkennen, welche dort in etwa 1 °C niedriger sind.

Dass sich das **Perioplum** im Thermobild teilweise nur schlecht darstellt, obwohl seine Falte über dem warmen Kronsaum liegt, kann anhand der histologischen Begebenheiten erklärt werden. Die distale Falte besteht ausschließlich aus dem wenig durchblutetem Stratum corneum der Epidermis, liegt dem Kronsaum mal mehr, mal weniger locker auf und verringert dadurch die Wärmeabstrahlung des Kronsaums. Die proximale Grenze des Perioplums erscheint in einigen Fällen als ein bis zu 1 °C wärmerer Streifen. Dort verringert sich die Dicke des Stratum corneum und verbindet sich mit den Anteilen des Koriums, des Stratum reticulare und papillare (BENZ 2005).

Die **Zwischenzehenräume** zwischen den Zehen II, III und IV stellen sich häufig durch einen vertikalen Streifen mit höheren Temperaturen als die benachbarten Hufwände und der proximalen Hautoberfläche dar. Bei den lateral und medial gelegenen, den Zehen I und V angrenzenden und dort meist sehr breiten Zwischenzehenräumen tritt diese Erwärmung nicht auf.

Da dieser Wärmestreifen vor allem bei eng zusammen stehenden Hufwänden ausgeprägt ist, wird vermutet, dass diese Erwärmung aufgrund stärkerer Belastung durch die benachbarten Hufwände entsteht.

### 5.2.4 Wärmeprofile

In den erstellten Wärmeprofilen werden die statistisch berechneten Mittelwerte aller gemessenen Regionen mitsamt den Grenzwerten des 95 % Konfidenzintervalls für Vorder- und Hinterfuß verglichen.

Am Vorderfuß stellt sich so der parabelförmige Temperaturverlauf der Hufwände und der Kronsäume von Zeh I zu Zeh V gut dar. Auch der sehr konstante Temperaturunterschied zwischen beiden Regionen von ca. 0,8 °C ist hier zu erkennen, während die Temperaturen der Zehenareale immer unterhalb denen der Kronsäume und teilweise auch der Hufwände liegen.

Die Minimal- und Maximalwerte des 95 % Konfidenzintervalls liegen jeweils um 3,1 °C bis 3,4 °C niedriger bzw. höher. Dies verdeutlicht die starken Schwankungen der absoluten Temperaturen im Laufe der Untersuchungen und bestärkt die Empfehlung verschiedener Autoren, bei thermografischen Untersuchungen mehr Wert auf das Wärmemuster und auf die Temperaturverhältnisse von definierten Regionen zueinander zu legen als auf absolute Temperaturwerte (HALL et al. 1987, VERSCHOOTEN et al. 1997, SCHULZE 2004, TUNLEY u. HENSON 2004).

Am Hinterfuß zeigt sich ein leicht unregelmäßigeres Wärmeprofil, welches zwar auch noch grob dem Verlauf einer Parabel ähnelt, aber wesentlich flacher verläuft als am Vorderfuß. Auch sind die Temperaturdifferenzen zwischen Kronsaum und Hufwand nicht ganz so konstant. Die Temperaturen der Zehenareale übertreffen nur an Zeh I die des Kronsaumes, während sie ansonsten denen der Hufwand ähneln.

Zusammen mit Betrachtung der Konfidenzintervallsgrenzen, welche 3,9 °C höher und 3,8 °C niedriger als die Mittelwerte liegen, ist das Wärmeprofil des Hinterfußes also etwas uncharakteristischer als das des Vorderfußes.

Die höheren Temperaturen an den kranialen Zehen könnten durch die, wie schon in der Diskussion der Hufwände beschriebene, höhere Beanspruchung dieser Zehen beim Laufen oder Graben/Stoßen verursacht sein. Dies könnte auch erklären, warum das Wärmeprofil des Hinterfußes nicht solch große Unterschiede zwischen kranialen und seitlichen Zehen zeigt, da dieser wesentlich seltener für solche Verhaltensmuster eingesetzt wird.

Andererseits muss bei dem Vergleich von Vorder- und Hinterfußprofilen auch beachtet werden, dass am Hinterfuß der Zeh I nicht vorhanden ist und daher die Kurven im Grunde erst ab Zeh II des Vorderfußes verglichen werden können. Dann ähneln sich die Wärmeprofile schon wesentlich mehr, wobei am Vorderfuß der Höhepunkt der Kurve bei Zeh III, am Hinterfuß dagegen bei Zeh IV liegt.

Die Temperaturwerte der drei Subkarpalregionen zeigen nur einen geringfügigen Unterschied von 0,2 °C zwischen medialer und kranialer Ansicht. Dagegen finden sich am medialen Karpus um 0,9 °C höhere Temperaturen als kranial und immer

noch 0,4 °C höhere als im Vergleich zum lateralen Karpus. Der mediale Karpuswert übertrifft auch den des medialen Subkarpus um 0,4 °C, während er in den anderen Blickwinkeln unterhalb der Subkarpaltemperaturen liegt.

Die subtarsalen und tarsalen Wärmeprofile liegen sehr dicht zusammen und verlaufen beinahe horizontal, wobei medial und kranial am Tarsus geringfügig niedrigere Temperaturen gefunden werden. Nur lateral kreuzen sich die Temperaturkurven und am Tarsus finden sich 0,2 °C höhere Temperaturen als subtarsal.

Es fällt schwer eine Erklärung für die höheren medialen Temperaturen im karpalen Wärmeprofil zu finden. Vor allem da diese Situation am Tarsus nicht auftritt. Eventuell könnten Wärmeabstrahlungen der Brustkorbregionen eine Erwärmung der medioproximalen Beinanteile verursachen.

### **5.2.5 Exemplarische Befunde**

Bei Betrachtung der teilweise recht charakteristischen Wärmeprofile mitsamt der allerdings sehr breitgefächerten Konfidenzintervalle, stellt sich die Frage nach der praktischen Relevanz dieser Ergebnisse für einzelne thermografische Untersuchungen.

Die erstellten physiologischen Wärmeprofile sind anhand einer großen Anzahl an Untersuchungsdaten mittels statistischer Analysen errechnet worden, um ein möglichst realistisches Profil zu erhalten. Trotzdem wird es bei Anfertigung von Wärmeprofilen einzelner Elefanten, aufgrund der wenigen Messdaten naturgemäß zu wesentlich uncharakteristischeren Kurven kommen. Ein Abweichen von den hier vorgestellten physiologischen Wärmeprofilkurven ist also unvermeidbar und könnte die Anwendung dieser Kurven zu Diagnosezwecken in praxi erschweren.

Zusätzlich musste überprüft werden, ob sich mittels herkömmlicher Betrachtung eines Thermogramms festgestellte Veränderungen im Wärmemuster eines Elefantenfußes auch in den mit Hilfe der definierten Messregionen erstellten Wärmeprofilen wieder finden.

Es wurden im Laufe dieser Studie viele Untersuchungen an Elefanten durchgeführt welche auffällige und abnorme Wärmemuster zeigten. Da der Schwerpunkt allerdings auf den klinisch und thermografisch als unauffällig befundeten Elefanten lag, um Aussagen über die physiologischen Wärmemuster treffen zu können, wurden die auffälligen Befunde nicht mittels herkömmlicher Diagnosetechniken, wie Röntgen, Biopsien oder Blutuntersuchungen verifiziert. Daher bleiben die wenigen hier exemplarisch besprochenen Befunde Verdachtsbefunde und können nicht als definitiv angesehen werden.

Bei Bulle I ist im Thermobild eine deutliche Erwärmung am V. Zeh des rechten Vorderfußes zu erkennen, welche mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf einen entzündlichen Vorgang in diesem Bereich hindeutet.

Die beiden erstellten Wärmeprofile der Zehen zeigen ein sehr regelmäßiges, leicht parabelförmiges Muster und lassen sich in diesem Fall sehr gut mit den physiologischen Wärmeprofilen vergleichen. Die Kronsaumtemperaturen liegen hier wie dort leicht über den Hufwandtemperaturen und die Temperaturen der Zehenregionen bleiben unterhalb beider. Am V. Zeh des rechten Vorderfußes steigt diese Zehenregionstemperatur allerdings weit über die des Kronsaums und der Hufwandregion. Das festgelegte Areal der Zehenregion spiegelt hierbei also deutlich die bei herkömmlicher, wesentlich subjektiverer Betrachtung des Thermogramms gefundene Erwärmung wider.

Während das Thermobild bei Bulle I den Idealfall einer singulären, eng umgrenzten und daher einfach zu erkennenden, vermutlichen Entzündung darstellt, ist im Beispiel der Kuh I ein etwas komplexeres Befundbild zu finden.

Auffällig sind die beidseitig im Vergleich zu den Vorderfüßen wärmeren Hinterfüße im Zehenbereich. Bei Betrachtung der Wärmeprofile stellt sich hier die Hufwand als wesentlich wärmer als der Kronsaum dar. An den Vorderfüßen liegt die Hufwandtemperatur dagegen dicht um der des Kronsaums und in den physiologischen Wärmeprofilen liegt die Hufwandtemperatur sogar ausschließlich deutlich unter der des Kronsaums.

Weiterhin fällt in den Wärmeprofilen auf, dass die Zehenregionstemperatur VL, HL und HR an Zeh V stark ansteigt und mal mehr, mal weniger deutlich die Temperaturen des Kronsaums und der Hufwand übersteigt. Wenn man dies nun mit den entsprechenden Ansichten der Thermobilder vergleicht, würde man wahrscheinlich diese Erwärmungen der V. Zehenregion als nicht wesentlich ausgeprägter als an den Nachbarzehen bewerten. Dies liegt einfach an den unterschiedlichen Ausmaßen der einzelnen Hufwände: Die Hufwände der V. Zehe dieser Kuh sind im Vergleich mit den anderen Hufwänden relativ klein, daher erscheint auch die Erwärmung der entsprechenden Zehenregion als nicht besonders schwerwiegend. Da die Größen der Messareale allerdings in Relation zu den Ausmaßen der einzelnen Hufwände erstellt werden, zeigt sich in den Wärmeprofilen, dass die Erwärmung der V. Zehenregionen im Verhältnis zur Größe der Zehen wesentlich gravierender ist. Die Begutachtung der Wärmeprofile kann dem Untersucher hierbei also Informationen bieten, die durch eine reine Betrachtung des Thermobildes übersehen werden könnten oder kaum erkennbar wären.

Andere Befunde lassen sich dagegen im Wärmeprofil nur schwer erkennen, während sie durch Betrachtung des Thermobildes sofort ins Auge fallen. So z. B. die fokale

Erwärmung im kranialen Subkarpalbereich des rechten Vorderfußes der Kuh I. Im Wärmeprofil lässt sich hier zwar erkennen, dass die subkarpalen Temperaturen gegenüber der Gegenseite erhöht sind, dies betrifft aber auch die karpalen Temperaturen. Natürlich könnte die karpale Erwärmung durch eine Einstrahlung des subkarpalen Wärmeherdes entstanden sein, wahrscheinlicher ist aber eher, dass sie durch eine allgemein am ganzen rechten Bein höhere Temperatur bedingt ist, da die Differenztemperatur zwischen kranialem Karpal- und Subkarpalbereich mit der der Gegenseite identisch ist. Eng umschriebene, fokale Wärmeherde, wie z. B. durch Stöße oder kleinere Verletzungen in den großflächigeren Messarealen der Subkarpal- und Karpalregionen sind also schwieriger im Wärmeprofil zu erkennen.

### **5.2.6 Praktische Relevanz der physiologischen Wärmeprofile**

In der Praxis wird es vermutlich nicht immer möglich oder praktikabel sein, bei der Auswertung der angefertigten Thermobilder die einzelnen Messregionen zu definieren und somit ein mit den hier erstellten physiologischen Wärmeprofilen vergleichbares Profil zu erhalten. So lassen sich beispielsweise nicht mit jeder Software der Thermografiekamerahersteller auch polygonale Messfelder erstellen.

Allerdings kann man an den physiologischen Wärmeprofilen erkennen, wie hoch die Differenzwerte zwischen den verschiedenen Arealen sind und wie sie sich von Zeh zu Zeh verändern. Durch Punktmessungen an den im Untersuchungsfall angefertigten Aufnahmen, welche repräsentative Temperaturwerte für die jeweilige Region wiedergeben sollten, können dann auch ohne aufwendige Festlegung von polygonalen Messfeldern einigermaßen vergleichbare Daten gewonnen werden.

Die Konstanz der Differenzwerte zwischen Kronsaum- und Hufwandareal und die meist unterhalb der des Kronsaums liegenden Temperatur des Zehenareals, scheinen hierbei die wichtigsten Kriterien für ein physiologisches Wärmebild zu sein. Weiterhin sollte beachtet werden, dass die medialen Zehen immer etwas kühler sind als die restlichen.

Die nur sehr geringen Wärmeunterschiede der karpalen/tarsalen und subkarpalen/subtarsalen Regionen von medial nach lateral zeigen, dass bei thermografischen Untersuchungen dieser Regionen eventuell festgestellte Wärmeunterschiede in nur einer dieser Ansichten nicht physiologisch sind und der Ursache nachgegangen werden sollte.



## **5.3 Haltung und Fußgesundheit der Elefanten besuchter Zoos**

### **5.3.1 Material und Methoden**

Bei der Erfassung der Haltungsfaktoren und der individuellen Daten eines jeden Elefanten wurden Fragebögen genutzt. Diese Fragebögen wurden zusammen mit den Cheftierpflegern und manchmal dem Tierarzt im Anschluss an die Untersuchungen ausgefüllt. Während die so erfassten Daten zu den Haltungsfaktoren relativ exakt sind, da diese meist klar definierte Werte haben wie z. B. Quadratmeter der Gehegefläche, Untergrundmaterial oder Pflegemaßnahmen, sind einige Daten zu den individuellen Elefanten einer starken Subjektivität unterworfen. Dies betraf insbesondere die Frage zur Häufigkeit des Auftretens von Stereotypen, welche je nach Stärke auf einer Skala von 1 bis 3 bewertet werden musste. Idealerweise hätten diese Daten wohl durch Beobachtungsreihen des Autors gesammelt werden müssen, wofür allerdings die Zeit fehlte. Bei Betrachtung dieser Daten muss also berücksichtigt werden, dass sie durch Befragung von in jedem Zoo unterschiedlichen Personen mit unterschiedlichen Erfahrungswerten erfasst wurden.

Ebenso von unterschiedlicher Qualität waren die Daten zu vorangegangenen Fußerkrankungen und deren Behandlung. Während einige Zoos jede Behandlung mit Diagnose sorgfältig digital archiviert hatten und teilweise sogar dem Autor ausgehändigt werden konnten, waren in anderen Zoos nur gravierende Erkrankungen handschriftlich festgehalten worden. Wenn dann zum Zeitpunkt des Besuchs nicht der behandelnde Tierarzt oder Tierpfleger vor Ort war, war es schwierig, exakte Daten zu erhalten. Erschwerend wirkte sich in dieser Beziehung auch aus, dass kleinere medizinische Behandlungen im Rahmen der Fußpflege oder Routinepflege der Tiere direkt durch die Tierpfleger vorgenommen wurden, die dann oft nicht erfasst wurden.

Die erfassten Daten zur Elefantenhaltung sind sehr vorsichtig zu betrachten. Zum einen kann bei Daten aus nur 17 deutschen, niederländischen und englischen Zoos kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden, andererseits beherbergen diese siebzehn Zoos aber 96 von 298 im europäischen Zuchtbuch erfassten Asiatischen Elefanten, also etwas über 30 % (BELTERMAN 2003). Im Zuchtbuch sind 92 europäische Institutionen erfasst, was bedeutet, dass die übrigen 70 % auf 75 verschiedene Haltungen verteilt sind.

Demnach sind die hier erfassten Daten nur repräsentativ für die größten Elefantenhaltungen in Europa, welche sicherlich eine gewisse Vorbildfunktion haben sollten.

### 5.3.2 Elefantenhaltung

Für die **Innengehege** empfiehlt die EAZA eine Mindestfläche von 36 m<sup>2</sup> pro Elefantenkuh, 45 m<sup>2</sup> pro Bulle und ab einer Herdengröße von drei Kühen mindestens 50m<sup>2</sup> für jede weitere Kuh (EAZA 1997). Die Anforderungen der AZA sind ähnlich mit teilweise noch etwas höheren Platzforderungen. Die Studie von CLUBB u. MASON (2002) konnte hier keine aktuelle Daten über europäische Innengehegegrößen finden.

In den Zoos, die im Verlauf der Studie besucht wurden, variierten die Größen der Innengehege recht stark. Sechs der fünfzehn Zoos, von denen Daten gesammelt werden konnten, lagen dabei unterhalb der EAZA Empfehlungen. Dies betrifft 43 der 95 Elefanten und damit knapp 45 % der Tiere in den besuchten Zoos. Drei Zoos verfügten dagegen über Innengehege, die mehr als das Doppelte der Empfehlungen maßen.

Da nicht alle Daten aus Bauplänen oder durch direkte Messung erfasst wurden, sind diese natürlich vorsichtig zu betrachten, doch ist die recht hohe Quote an Unterschreitungen der EAZA Richtlinien schon beachtenswert. Vor allem da die Tiere in den Wintermonaten den Großteil der Zeit in den Innengehegen verbringen, fällt mangelnder Platz für Bewegung hierbei schwer ins Gewicht und wirkt sich sicherlich nachteilig auf die Fußgesundheit aus.

Zu erwähnen ist jedoch, dass mittlerweile einer der sechs Zoos ein wesentlich größeres, neues Innengehege besitzt und in mindestens einem weiteren ein Neubau geplant ist.

Als Bodenmaterial fanden sich in den besuchten Zoos immer noch häufig unnachgiebige Flächen aus Asphalt oder Zement, welche sich durch ihre unzureichende Abfederung schädigend auf die Elefanten auswirken (WEST 2001). In einem Zoo wurden sogar Fliesen gefunden, welche laut den Pflegern sehr rutschig und gefährlich für die Tiere werden können.

Immerhin zwei Zoos verwendeten nachgiebige Strukturen wie Stallit und Holz großflächig für ihr Innengehege und in vier weiteren wurden Teile der Innenareale mit Stroheinstreu, dicken Sandschichten oder neuartigen Hartgummiböden ausgelegt. Es ist sicherlich begrüßenswert, dass sich einige Zoos der Problematik der Bodenmaterialien bewusst sind und versuchen, durch neue Strukturen die althergebrachten Betonfußböden auszuwechseln. Die Schwierigkeit hierbei liegt in dem Kompromiss aus reduzierter Starrheit und trotzdem hoher Widerstandsfähigkeit und im Falle von Naturböden wie Stroh oder Erdboden in der Hygiene. So wurden z. B. die Versuche des Zoos Stuttgart, ihre Innengehege mit Hartgummimaterial auszustatten, durch die stetigen Erkundungsversuche der Elefanten zunichte gemacht, welche das Material schließlich zerstörten (RIETSCHEL, persönl.

Komm., Stuttgart, 2005). Solche Zerstörung des Bodenmaterials zu verhindern wäre wahrscheinlich nur durch eine starke Vergrößerung der Innenareale mit Gruppengehegen, in denen die Tiere hinreichend Ablenkung finden zu erreichen (STEVENSON u. WALTER 2006).

Für die **Außengehege** empfiehlt die EAZA Mindestgrößen von 400 m<sup>2</sup> für drei Elefanten und 100 m<sup>2</sup> zusätzlich für jeden weiteren (EAZA 1997). Diese Anforderungen wurden in jedem der besuchten Zoos erfüllt und teilweise wesentlich übertroffen. Dagegen boten drei Zoos ihren Elefanten keinen Zugang zu einem Wasserbecken an, was von der EAZA gefordert wird. Weiterhin fiel auf, dass nur in sieben Zoos versucht wurde, die Elefanten während des Außengehegeaufenthaltes zu beschäftigen, indem dort besondere Strukturen installiert wurden und weiterhin nur die Hälfte der Zoos über ein tägliches Bewegungs- bzw. Trainingsprogramm für die Tiere verfügte. Bewegung und der vielfältige Einsatz der Füße als Werkzeug sind aber für die Gesundheit der Tiere und ihrer Füße unabdinglich. Von einigen Autoren wird tägliches ein- bis zweistündiges Bewegen der Tiere durch Führen oder Training gefordert, was in nur sehr wenigen der besuchten Zoos durchgeführt wurde (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, SCHMITT 2003).

Beim Vergleich der **Pflegemaßnahmen** im Bereich der Fußpflege wurden eigentlich in jedem Zoo unterschiedliche Vorgehensweisen gefunden. Gemein hatten alle Zoos, dass sie die Hufwandecken abfeilen und die distale Hufwandkante abrunden. Zusätzlich wurden dann verschiedenste weitere Maßnahmen durchgeführt. Es ist sehr schwer zu beurteilen, welche Kombination der angeführten Methoden empfehlenswert ist oder maßgeblich zum Erhalt gesunder Füße führt. Allerdings ist das Abfeilen der frontalen Hufwandfläche, welche in zwei Zoos noch durchgeführt wurde, nicht anzuraten, da dadurch eine Schwächung der lasttragenden Struktur erfolgen kann (ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001).

Die allermeisten Zoos führten ihre Fußpflege mindestens alle drei Monate als Routine durch, welches der Forderung nach regelmäßiger Fußpflege entspricht (RÜEDI 1995, ROOCROFT u. OOSTERHUIS 2001, RAJANKUTTY 2004).

Auch der häufig von erfahrenen Elefantenpflegern propagierte Rat, die Fußpflege mit Handwerkzeugen durchzuführen, wurde in vierzehn Zoos befolgt.

Eine übertriebene präventive Fußpflege und insbesondere ein allzu häufiges Abtragen des Sohlen- und Ballenhorns ist vorsichtig zu betrachten, da dies zu einer Schwächung der Fußstrukturen führt, wie auch schon bei Nashörnern festgestellt wurde (VON HOUWALD 2001).

Die Ergebnisse zum Zeitrahmen der **Ankettung** der Elefanten sind durchaus positiv zu bewerten. Der Großteil der besuchten Zoos kettete ihre Elefanten nur für Pflegemaßnahmen an und nur drei Zoos nutzten Ketten für mehr als sechs Stunden täglich. Auch wenn letzteres natürlich immer noch nicht zufriedenstellend ist, lässt sich eine wesentliche Verbesserung der Kettenhaltungsmoral im Vergleich zu früheren Studien feststellen.

TAYLOR u. POOLE (1998) fanden, dass ca. 40 % der europäischen Zoos ihre Elefanten für mehr als acht Stunden täglich ankettete und eine Studie von 1991 belegte, dass 48 % nordamerikanischer Zoos ihre Elefanten über Nacht anketteten (GALLOWAY 1991). Natürlich muss man beim Vergleich mit diesen Studien die geringe Anzahl besuchter Zoos und die Selektionskriterien, die zur Auswahl derselben führten, beachten.

Im Sinne des Erfahrungsaustausches zwischen Zoos sind Treffen und Möglichkeiten zur **Fortbildung** für die Pflegerteams von großer Bedeutung. In Zooumgebungen droht immer die Gefahr, dass sich Techniken oder Methoden isoliert von Fachpublikum und anderen Zoos entwickeln. Dadurch dauert es lange, bis sich Fortschritte der Elefantenhaltung in den Zoos verbreiten und eventuell Methoden mit negativen Folgen ausgemerzt werden können. Das immerhin die Cheftierpfleger ungefähr der Hälfte der besuchten Zoos regelmäßig an Fortbildungen teilnahmen, ist in diesem Sinne positiv zu bewerten, auch wenn eine noch breitere Beteiligung wünschenswert wäre. Sechs weitere Zoos nahmen sporadisch an solchen Treffen teil, insbesondere das jährlich stattfindende deutsche Elefantenpflegertreffen scheint sich hier zunehmender Beliebtheit zu erfreuen. Ob eine regelmäßigere Teilnahme durch die Zooleitung erschwert wurde oder die Motivation im jeweiligen Pflegerteam nicht vorhanden war, lässt sich schwer ergründen.

### 5.3.3 Fußgesundheit

Erkrankungen der Gliedmaßen machen nach Meinung einiger Autoren die größte Quelle medizinischer Probleme der Elefanten in Zoos aus (SCHMIDT 1986). MIKOTA (1994) stellte bei 50 % der Elefanten in nordamerikanischen Zoos aktuelle oder überstandene Erkrankungen der Gliedmaßen fest, welche 10% aller medizinischen Befunde ausmachten.

In dieser Studie wurden nur 36 % der Tiere als niemals von gesundheitlichen Probleme im Bereich der Gliedmaßen betroffen identifiziert, während 27 % zum zufällig gewählten Zeitpunkt der Untersuchung akute Probleme zeigten. Diese Zahlen beschreiben einen sogar dramatischeren Zustand als von Mikota berichtet und

bestätigen die brisante Situation der Fußerkrankungen bei Zooelefanten.

Mit großem Abstand handelte es sich bei den ermittelten Problemen um Erkrankungen im Bereich der Nägel und hier insbesondere um Abszesse und andere entzündliche Prozesse im Bereich des Nagelbetts, was sich mit den Aussagen von WEST (2001) trifft. Die Ursachen dieser häufigen Erkrankungen können nicht näher bestimmt werden, aber es war auffällig, dass einige Elefanten öfter erkrankten als andere. Eine gewisse individuelle Prädisposition, wie von einigen Autoren beschrieben, ist wahrscheinlich (FOWLER 2001, SEIDON 2001). Immerhin erkrankten 21 % der Tiere mehrmals jährlich und nur sehr selten wurden primäre äußere Verletzungen als Ursache erkannt. ROOCROFT u. OOSTERHUIS (2001) vermuteten, dass diese Abszesse als sterile Abszesse durch Überbelastung der Hufnägel beginnen und sich erst sekundär infizieren. Dafür könnte auch sprechen, dass bei älteren Tieren deutlich häufiger Fußerkrankungen auftraten als bei jüngeren, denn bei jüngeren Tieren kommt es häufiger zu äußeren Verletzungen aufgrund ihrer höheren Aktivität und mangelnden Erfahrung, während Nägel älterer Tiere durch ihr höheres Gewicht und verminderte Elastizität des Bindegewebes vermutlich einer höheren Belastung ausgesetzt sind. Wären die primären Ursachen der Erkrankungen traumatischer Genese durch äußere Verletzungen, würden somit wahrscheinlich eher jüngere Elefanten eine höhere Erkrankungsrate zeigen.

Ebenfalls recht häufig wurde im Zuge der Untersuchungen über auffällige Steifheiten unklarer Genese berichtet. Eventuell könnte es sich hierbei um noch nicht diagnostizierte arthrotische Veränderungen handeln.

Leider konnten nicht in allen Zoos die **Körpergewichte** der Elefanten erfasst werden, daher wurde eine Einschätzung der Pfleger zum Ernährungszustand der Elefanten erbeten. Laut dieser Einschätzung wurden 30 % der Elefanten als adipös eingestuft, was den Bedarf für dauernde Bewegung der Tiere unterstreicht.

Ein nicht geringer Beitrag des zu hohen Körpergewichtes zur Problematik der häufigen Fußerkrankungen ist somit also sehr wahrscheinlich, da ein zu hohes Gewicht eine vermehrte Belastung der Pufferzonen des Fußes mit sich bringt.

In den meisten Zoos wurde das Futter an einer einzigen Stelle ausgelegt, was dazu führte, dass die Elefanten sich für die Futteraufnahme kaum bewegen mussten. Die Experimente einiger Zoos mit Futterkatapulten oder elektronisch verschalteten, über das gesamte Außengelände verteilten Futterklappen waren in der Vergangenheit nicht sehr erfolgreich. Um die Futteraufnahme zumindest zu verlangsamen und eine längere Beschäftigung mit dem Futter zu gewährleisten, erschienen Futterboxen mit engen Zugangsschlitzern oder -löchern recht sinnvoll, aber auch sie erfordern keine Bewegung während der Futteraufnahme.

Es wurden für jeden Elefanten Daten über die Ausprägung von **Stereotypien** gesammelt. Stereotypien sind definiert als sich wiederholende, gleichförmige Bewegungsmuster, die zu keinem Ziel führen (MASON 1991).

Ob Stereotypien als alleiniger Maßstab zur Qualitätsbeurteilung der jeweiligen Elefantenhaltung taugen, ist nicht zweifelsfrei geklärt (CLUBB u. MASON 2002, REES 2004). Auch ob stereotype Bewegungsmuster durch die immer gleichen Bewegungsabfolgen Fußerkrankungen verursachen ist unsicher. Einige Autoren sind der Meinung, dass stereotypes Verhalten die Durchblutung des Fußes anregt und eine fehlende Bewegungsmöglichkeit ausgleicht (FRIEND u. PARKER 1999).

Das über 36 % der Elefanten stereotype Bewegungsmuster ausgebildet hatten, deckt sich mit den Ergebnissen CLUBB u. MASONs (2002), welche bei 38 % der 21 von ihnen untersuchten Elefanten Stereotypien feststellten. Nach der Häufigkeit des Auftretens der Stereotypien befragt, taten 17 % aller Tiere dies „häufig“ oder „sehr häufig“, das heißt mehrmals täglich.

Die Überprüfung, ob Elefanten mit starker Stereotypieausprägung in der Vergangenheit vermehrt an Fußerkrankungen litten, zeigte nur einen geringen Zusammenhang. Es ist hier ein leichter Anstieg der Erkrankungen mit steigender Stereotypieausprägung zu finden. Aufgrund der recht wenigen Daten von Elefanten mit „sehr häufigen“ stereotypen Bewegungsmustern ist das 95% Konfidenzintervall dort recht breit und dieser leichte Anstieg vorsichtig zu beurteilen.

Auch der Zusammenhang zwischen Stereotypieausprägung und Alter des Elefanten ist unklar. Während deutlich wird, dass ältere Elefanten häufiger Stereotypien ausbilden, ist eine Korrelation mit der Stärke der Ausprägung unsicher, da das Alter der Elefanten mit stärkster Ausprägung niedriger ist als das der Tiere mit mittlerer oder geringer Ausprägung.

Da die Tiere recht schnell bei entsprechenden Umständen Stereotypien ausbilden können und diese nach einer gewissen Zeit nur wesentlich schwerer wieder rückgängig zu machen sind, erstaunt es nicht, dass bei älteren Tieren häufiger Stereotypien gefunden werden können als bei jungen. Außerdem könnten Stereotypien eine Kompensation für altersbedingte Bewegungsunlust darstellen, was ebenfalls zu einem vermehrtem Auftreten von Stereotypien bei älteren Tieren führen würde.

#### **5.3.4 Einfluss der Haltungsfaktoren auf die Fußgesundheit**

Um Hinweise des Einflusses bestimmter Haltungsfaktoren auf das Auftreten von Fußerkrankungen zu erhalten, wurden eine weitere ANOVA Analyse durchgeführt. Die ausgewählten Faktoren wurden mit Hinblick auf die Häufigkeit des Auftretens von



als auffällig und eventuell entzündlich bewerteten Thermografiebefunden statistisch analysiert.

Der Großteil der in die Analyse miteinbezogenen Haltungsfaktoren zeigte keine signifikanten Einflüsse auf das Befundungsergebnis, d. h. es konnte nicht klar festgestellt werden, dass bestimmte Faktoren eindeutige Auslöser für Fußerkrankungen sind. Dies könnte zum einen daran liegen, dass bei der großen Anzahl an verschiedenen Haltungsfaktoren, die alle vermutlich einen mehr oder weniger starken Einfluss auf die Fußgesundheit haben und die allesamt von Zoo zu Zoo variieren, eine Auswertung sehr erschwert wird. Nur bei extremen Einflüssen hätte so ein eindeutiges Ergebnis gefunden werden können.

Es muss auch die Frage gestellt werden, inwiefern die Auswahl der als auffällig bewerteten Thermografiebefunde sich mit tatsächlich entzündlichen Prozessen deckt. Da die vermutlichen Entzündungen nicht nachgewiesen wurden, ist hier eine hohe falsch positive Dunkelziffer an zwar auffälligen, aber nicht entzündlich veränderter Füße anzunehmen.

Ein signifikanter Einfluss wurde bei Betrachtung des Lebensalters der Tiere gefunden. Ein höheres Alter erhöht die Wahrscheinlichkeit, thermografisch auffällige Befunde zu diagnostizieren um ein Wesentliches. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie nach Auswertung der Gesundheitsdaten, in denen eine höhere Fußerkrankungshäufigkeit bei älteren Tieren festgestellt wurde.

Eine umgekehrte Wirkung wurde bei Betrachtung des Einflusses von Stereotypen gefunden. Hier zeigte sich, dass bei Elefanten mit stereotypen Verhaltensmustern eine signifikant geringere Wahrscheinlichkeit existiert, einen thermografisch auffälligen Befund zu diagnostizieren. Über die Ursachen kann nur spekuliert werden. Es könnte vermutet werden, dass durch stereotype Bewegungsmuster eine vermehrte Durchblutung der Füße verursacht wird, welche mit einem auffälligeren Wärmebild einhergeht und somit eventuell vorhandene entzündliche Wärmemuster überdeckt. Dies könnte somit zu einer selteneren Befundung entzündlicher Prozesse führen.

Auch gibt es Angaben, dass stereotype Bewegungsmuster durch die vermehrte Aktivität eine verringerte normale Bewegung ausgleichen und somit eventuell sogar für die Fußgesundheit förderlich wären (FRIEND u. PARKER 1999). Dem entgegen spricht allerdings die hier ebenfalls festgestellte leicht vermehrte Fußerkrankungshäufigkeit bei Elefanten mit Stereotypen. Eine erhöhte Aktivität durch stereotype Bewegungsmuster mag einen gewissen Kompensationseffekt bei ansonsten verringerter Bewegung haben, allerdings ist zu bedenken, ob nicht der Abnutzungseffekt durch die ewig gleichen, sich wiederholenden Bewegungen diesen potentiell positiven Effekt neutralisiert oder sogar übertrifft.



## 5.4 Druckmessungen

### 5.4.1 Material und Methode

Bei der in dieser Studie erstmalig eingesetzten Methode der Druckmessung mittels Sensormatte kam ein System aus dem Humanbereich zum Einsatz, dessen Tauglichkeit im Umgang mit Elefanten erst noch zu beweisen war. Es gibt verschiedene Systeme auf dem Markt, welche von Orthopäden und Sportphysiologen eingesetzt werden, um Fehlbelastungen an verschiedenen Körperteilen, vor allem aber der Füße festzustellen. Die meisten Systeme sind starre Geräte, die vom Patienten betreten werden müssen, um Messungen durchzuführen. Diese Modelle kamen für die Untersuchungen der Elefantenfüße nicht in Frage, da nicht auszuschließen war, dass das Gerät unter Vollbelastung eines Elefantenfußes zerbricht und somit ein Schaden von je nach System ca. 20 000,- Euro entstanden wäre. Außerdem hätte zum einen dadurch ein Verletzungsrisiko für den Elefanten bestanden und die Messungen hätten zum anderen auch einen methodischen Fehler, da die Plattformen meist eine Höhe von einigen Zentimetern besitzen und durch das einseitige Auftreten auf diese Plattformen eine ungleiche Belastung der Vorderfüße entstanden wäre.

Das System der GeBiom Münster bestand aus einer flexiblen Matte, nicht dicker als herkömmliche Heizdecken und war daher ideal für diese Untersuchungen geeignet. Weiterhin positiv war die Datenübertragung per USB-Kabel zum Computer, so dass der Untersucher mit dem Computer außerhalb des Geheges positioniert werden konnte. Die Matte wurde für die Untersuchungen durch einen dünnen Kissenbezug vor groben Verunreinigungen geschützt. Leider kam es in einem Fall zu einem unglücklichen Vorfall als die zu untersuchende Elefantenkuh Urin abließ und die Matte nicht schnell genug außer Reichweite des sich auf dem Boden ausbreitenden Urins gebracht werden konnte. Unter Umständen hätte dies zu Kurzschlüssen in den Sensorknoten führen können, was aber glücklicherweise ausblieb. Es ist trotzdem sehr ratsam, für zukünftige Untersuchungen einen wasserabweisenden Schutzbezug zu verwenden.

Absolut notwendig war die im Vorfeld der Untersuchung durchzuführende Eingewöhnung der Elefanten an das Auftreten auf eine mattenähnliche Struktur. Für diesen Zweck wurde eine Attrappe angefertigt und den Elefantenpflegern ca. zwei Wochen vor dem eigentlichen Untersuchungstag zugestellt. Die Elefanten waren anfangs sehr argwöhnisch, auf diese Matte zu treten. Da es für die Messungen aber vorteilhaft ist, wenn die Elefanten möglichst mit voller Belastung auftreten, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, ist es notwendig, dass die Tiere an diese

Prozedur hinreichend gewöhnt sind. Selbst nach Training mit der Attrappe war ein zielgenaues Auftreten auf die Sensormatte während der Untersuchungen nicht selbstverständlich und die Tiere versuchten phasenweise eine Belastung dieses Beines zu umgehen, indem das Gewicht auf die anderen Beine verteilt wurde.

Daher erwies sich das Anheben des Gegenbeins während der Messungen als zweckmäßig, um so eine gleichmäßige Belastung des zu messenden Beins zu erhalten.

#### **5.4.2 Ergebnisse der Druckmessungen**

Bei den Messungen wurden die erwarteten ungleichen Druckverteilungen zwischen Hinter- und Vorderfüßen bestätigt. Bei den beiden gemessenen Kühen wurden am Vorderfuß durchschnittlich doppelt so hohe Gesamtdrucke gemessen wie am Hinterfuß, allerdings waren die maximal erreichten punktuellen Druckwerte bei Ratna für Vorder- und Hinterfuß gleich und bei Kanaudi am Hinterfuß nur unwesentlich geringer. Dies korreliert mit den unterschiedlichen Größen der gewichtstragenden Strukturen, die am Vorderfuß deutlich größeren Umfang haben als am Hinterfuß (BENZ 2005). Die Größe der Füße ist also der auf ihnen lastenden Belastung entsprechend angepasst.

Wie zu erwarten erhöhte dreibeiniges Stehen den herrschenden Gesamtdruck. Hier zeigte sich ein großer Unterschied zwischen den beiden Kühen. Während bei Ratna sowohl bei Anheben des Vorder- als auch des Hinterfußes der Gesamtdruck um ca. 30 % anstieg, war dies bei Kanaudi wesentlich ungleichmäßiger. Bei Anheben des Vorderfußes stieg der Druck des anderen Vorderfußes nur um 12 %, während bei Anheben des Hinterfußes der lastende Druck auf der Gegenseite um 96 % stieg. Dies wirkte sich auch auf die ansonsten eher kaum von der höheren Belastung des Beinanhebens beeinflusste Spitzenbelastung am Hinterfuß von Kanaudi aus. Diese stieg hierbei um 24 % und betrug somit um das 2,5 bis 5-fache des Anstiegs bei Ratna. Die Ursache hierfür ist unklar, deutet aber durch diese Überbelastung auf ein unphysiologisches Verhalten. Es wäre vorstellbar, dass bei vorliegenden Fußproblemen in den Vorderfüßen oder -beinen diese nur ungerne belastet werden. So könnte bei Kanaudi eventuell eine zu große Druckbelastung der Vorderfüße durch das Anheben eines Beines Schmerzen oder Unwohlsein ausgelöst haben, weshalb sie versuchte, möglichst viel Gewicht auf die Hinterbeine zu verteilen. Allerdings war den Pflegern zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Erkrankung der Vorderfüße bekannt.

Die Ursache könnte selbstverständlich auch einfach in einer vermehrten Unruhe des Tieres gelegen haben oder einer individuellen Vorliebe, das Gewicht auf die

Hinterbeine zu verlagern.

Sehr einfach und exakt konnten mittels der Drucksensormatte die tatsächlich belasteten Flächen des Fußes bestimmt werden. Hier stellte sich auch die zu erwartende Flächenzunahme bei Erhöhung des auf dem Fuß lastenden Druckes dar und korrelierte mit dem Grad der Druckerhöhung. So zeigte Kanaudi eine wesentlich stärkere Flächenzunahme an dem bei ihr, wie erwähnt, vielfach stärker belastetem Hinterfuß als an ihrem Vorderfuß oder auch der Gliedmaßen Ratnas.

Interessant waren die Darstellung der Druckverteilung im 3D- und 2D-Modell. Im Vorfeld war unklar, wie sich die Druckverteilung unter dem Elefantenfuß verhält. Beim Menschen zeigen Druckverteilungsmessungen, dass die Drücke unter dem Ballen, der Ferse und der einzelnen Zehen wesentlich höher sind als am Mittelfuß. Es existiert ein ausgeprägtes Profil mit Druckunterschieden von bis zu 2800 mbar unter einem gesunden Fuß. Bei der großflächigen und relativ einheitlichen Struktur des Elefantenfußes stellte sich die Frage, ob ein charakteristisches Druckprofil besteht oder ob die Druckverteilung eher gleichmäßig über die ganze Fußfläche erfolgt.

Am Beispiel eines Vorderfußes von Ratna konnte man hier allerdings ein klares Druckprofil mit eindeutig begrenzten Arealen erkennen, welche höheren Drücken ausgesetzt waren als andere. Besonders die starke kraniale Belastung im Sohlenbereich und eventuell beginnendem Ballenbereich und die beiden Druckpfeiler im kaudalen Fußabschnitt waren hierbei bemerkenswert.

Natürlich sind dies Ergebnisse nur weniger experimenteller Einzelmessungen und daher nicht zu verallgemeinern, aber diese wesentlich höhere Belastung der kranialen Fußanteile könnte die Vermutung, dass eine der Hauptursachen für die Entstehung von Fußerkrankungen in der Überbelastung der Zehen liegt, bekräftigen.

Die Versuchsreihe mit dem Bettlaken, welche einen abfedernden Boden simulieren sollte, ist schwierig zu bewerten. In der grafischen Darstellung kann man eine Verminderung der Druckbelastung erkennen, welche aber auch durch eine vorsichtigere Belastung des Fußes verursacht werden konnte, da das zusätzliche Laken die Tiere verunsicherte.

Hier wäre es sicherlich von Vorteil Untersuchungen auf beispielsweise Naturböden durchzuführen, um interpretierbare Ergebnisse zu erhalten.

Bei Betrachtung der maximal erreichten Druckwerte, welche mit ca. 200 mbar um den Faktor 15 niedriger als beim Menschen waren, wird vermutet, dass die Elefanten trotz Anheben eines Beines, die zu messende Gegenseite entlastet haben. Die jeweils für den gesamten Fuß gemessenen Kräfte lagen somit auch wesentlich unter den erwarteten. Am Vorderfuß bewegten sie sich um die 1500 N (150 kg) und

am Hinterfuß um 1000 N (100 kg). Bei Körpermassen der Elefanten von 3200 kg bzw. 4200 kg hätten theoretisch bei gleichmäßiger und vollständiger Belastung am Vorderfuß Kräfte von ca. 1000 kg wirken müssen.

Die anhand der Fußfläche und der auf ihnen lastenden Kräfte berechneten Drücke lagen mit umgerechnet 2 PSI deutlich unter den theoretisch berechneten, welche bei diesen Körpermassen bei ca. 11 PSI liegen müssten.

Somit eignet sich diese Druckmessmethode bisher eher weniger zur Ermittlung absoluter Druckwerte, solange man nicht gewährleisten kann, dass die Elefanten während der Messungen normal auftreten. An der relativen Druckverteilung unter dem Fuß wird sich allerdings auch bei vollständiger Belastung kaum etwas ändern, weshalb die Methode hierfür gut geeignet erscheint.

## 5.5 Ausblick

Generell wären Thermografiekameras mit höherer Messgenauigkeit für thermografische Untersuchungen sehr wünschenswert, allerdings sind zum jetzigen Zeitpunkt nur hochprofessionelle, im medizinischen Bereich kaum finanzierbare, Industriekameras in der Lage, eine Messgenauigkeit von  $\pm 1^\circ\text{C}$  zu gewährleisten.

Die in dieser Studie genutzte Kamera verfügte über keine Option simultan thermografische und fotografische Bilder zu erstellen. Neuere Kameras bieten dies an, wobei es allerdings fraglich ist, wie sehr die Qualität der fotografischen Aufnahmen eine genaue Detailbetrachtung ermöglicht. Üblicherweise werden die Fotos in den neueren Kameras nämlich mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixel als Videostandbild erstellt. Mit dieser Auflösung wird es kaum möglich sein, nachträglich z. B. einzelne Hufwandbereiche nach Artefakten abzusuchen, welche im Thermobild aufgefallen waren. Der Vorteil der kombinierten Foto/Thermoaufnahmen ist natürlich die zeitnahe Aufnahme eines Fotos und der einfachere und schnellere Untersuchungsablauf ohne andauernd zwischen Fotokamera und Thermokamera wechseln zu müssen.

Mit dem Vorliegen der in dieser Arbeit vorgestellten physiologischen Wärmemuster wäre es nun wünschenswert, in Folgestudien diese bei verschiedenen Erkrankungen zu untersuchen und sie mit den physiologischen Wärmeprofilen abzugleichen, um eine exaktere Diagnose zu ermöglichen.

Mit dem erfolgreichen erstmaligen Einsatz der hier vorgestellten Methode zur Druckverteilungsmessung unter dem Elefantenfuß eröffnet sich eine ganze Bandbreite an interessanten Forschungsthemen.

Die ursprüngliche Idee die zu diesen pedografischen Untersuchungen führte, war

zu untersuchen, ob sich Veränderungen in der Druckbelastung oder -verteilung auch mittels Thermografie erkennen lassen. Dies konnte in dieser Arbeit leider nicht ermittelt werden, da die finanziellen Mittel fehlten, um mehr pedografische Untersuchungen durchzuführen.

Es müssten ausserdem noch viele Grundlagenuntersuchungen zur Methode erfolgen, um reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten.

Vorstellbare Untersuchungsgebiete wären u. a. Veränderungen der Druckverteilung nach Fußpflegeprozeduren, Einfluss des Bodenmaterials auf das Druckprofil und die Druckverteilung bei Gliedmaßenerkrankungen, wie z. B. Arthrosen sowie die oben erwähnte Kombination aus Pedografie und Thermografie.

Als Weiterentwicklung der hier vorgestellten Methode wäre es sicherlich sinnvoll, die Druckbelastung und -verteilung bei sich bewegenden Elefanten zu messen, wie dies beim Menschen durchgeführt wird, um Aufschluss über die Druckverteilung in den verschiedenen Phasen des Ganges zu erhalten. Dies könnte z. B. durch Führen über eine größere Sensormatte oder durch Anbringen einer angepassten Sensormatte an den Elefantenfuß erfolgen.

## 6 Zusammenfassung

Jan Schmidt-Burbach

### **Thermografische Ermittlung physiologischer Wärmeprofile und pedografische Untersuchungen an den Extremitäten sowie Haltungsanalysen beim Asiatischen Elefanten (*Elephas maximus*) in menschlicher Obhut**

Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig und Zoologischer Garten Leipzig

Eingereicht im Januar 2008

94 Seiten, 56 Abbildungen, 7 Tabellen, 131 Literaturstellen.

Schlüsselwörter: Thermografie, Fußerkrankung, Pedografie, Wärmeprofil, Elefanten, Druckmessung, Haltung

Fußkrankheiten sind eine der häufigsten Krankheiten von Elefanten in Zoos und meist schwer nachhaltig zu therapieren, da häufig haltungsbedingt verursacht. Die Thermografie zeigte hier in der Vergangenheit als nicht-invasives, diagnostisches Hilfsmittel vielversprechende Resultate, um Fußkrankheiten früh im Entstehungsprozess zu erkennen. Allerdings fehlen bisher physiologische thermografische Normwerte, die eine breite Anwendung dieser Technik und eine hinreichend objektive Befundung erlauben würden.

Die Pedografie wird in der Humanmedizin schon lange angewandt, um Fehlbelastungen und andere pathologische Zustände am Fuß zu erkennen. Pedografische Untersuchungen an Elefanten wurden bisher nicht durchgeführt, könnten aber wichtige Erkenntnisse über die Druckverteilung am Elefantenfuß und seine Beeinflussung durch Haltungsfaktoren erbringen.

Im Zuge systematisch durchgeführter thermografischer Untersuchungen an 95 Asiatischen Elefanten in europäischen Zoos konnten physiologische Wärmeprofile aller nicht von Fußkrankheiten betroffener Elefanten erstellt werden. Um eine objektivere Befundung zu ermöglichen, wurden dafür definierte Messbereiche an den Füßen festgelegt und deren Temperaturdaten als Wärmekurven für jeden Zeh dargestellt.

Es zeigte sich, dass die Bandbreite von Temperaturen gleicher Messbereiche starken individuellen Schwankungen unterliegt, weshalb eine Befundung nicht anhand absoluter Temperaturwerte erfolgen sollte. So wurden über gleichen Messbereichen unterschiedlicher Elefanten Temperaturunterschiede von bis zu 8 °C festgestellt. Auch die Umgebungsfaktoren während der Untersuchung tragen zu dieser Varianz bei. Bei Umgebungstemperaturen zwischen 17,5 °C und 23 °C stellt sich durch Erhöhung der Außentemperatur um 1 °C eine um 0,5 °C erhöhte Wärmeabstrahlung über der Haut dar. Eine Erhöhung der Luftfeuchte um 1 % verursacht eine um 0,03 °C vermehrte Wärmeabstrahlung.

Die Wärmeprofile stellten sich für die Kronsaum- und Hufwandbereiche der Zehen eines Fußes von medial nach lateral in einem parabelförmigen Verlauf dar, wobei die höchsten Temperaturen an den kranialen Zehen gemessen wurden. Die Differenz zwischen Kronsaum- und Hufwandbereichen blieb dabei konstant. Die Temperaturen der Zehenregion oberhalb des Kronsaums folgten nicht dieser

Parabelform, lagen aber, außer an der jeweils medialen Seite, konstant unterhalb der Kronsaumtemperaturen. Bei Vergleich mit thermografischen Befunden erkrankter Zehen zeigte sich meist ein starker Anstieg der Zehenregiontemperatur weit über die Kronsaumtemperaturen hinaus, weshalb sich dieses Verhältnis als Indiz für ein akutes Entzündungsgeschehen nutzen lässt.

Ein gleichmäßiges Wärmeprofil, welches möglichst dicht dem in dieser Arbeit entwickelten Profil gleicht und konstante Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Messbereichen aufweist, ist ein gutes Indiz für einen gesunden Fuß.

Thermografische Befundungen sollten immer mit Hilfe herkömmlicher visueller Auswertung und zusätzlich der Erstellung eines Wärmeprofiles vorgenommen werden, um die Subjektivität zu minimieren.

Erstmalig wurden in dieser Arbeit drei Elefanten mittels Pedografie untersucht, um Aufschlüsse über die Druckverteilung unter dem Elefantenfuß zu erhalten.

Wie bei Menschen und pedografisch vermessenen Rindern fanden sich auch beim Elefanten charakteristische Druckprofile. Druckspitzenwerte tauchten hierbei vor allem im kranialen Bereich der Füße als Druckleiste, aber auch im kaudalen Bereich in Form zweier Druckpfeiler auf. Experimente mit einer Methode zur Simulation weichen Untergrundes schienen die Druckspitzenwerte etwas abzuschwächen und das allgemeine Druckprofil einzuebnen, waren aber nur schwer auszuwerten.

Die Methode eignet sich ebenso zur Erfassung der tatsächlich belasteten Fläche der Füße, welche sich bei stärkerer Belastung, beispielsweise dreibeinigem Stehen, vergrößerte.

Trotz noch einiger methodischer und technischer Probleme, eröffnet sich mit der Pedografie ein sicherlich lohnenswertes Forschungsfeld für weitere Studien, die einen besseren Einblick in die Druckphysiologie des Elefantenfußes gewähren könnten.

Weiterhin wurden in dieser Arbeit Daten der Elefantenhaltungssysteme von 17 besuchten europäischen Zoos, sowie Daten über Häufigkeit und Art der Gliedmaßenkrankheiten und anderer gesundheitlicher Parameter aller 95 untersuchten Elefanten ausgewertet.

Hierbei zeigte sich immer noch starker Verbesserungsbedarf im Hinblick auf Innengehegegrößen und die verwendeten Bodenmaterialien. Auch Bewegungsprogramme für den Aufenthalt im Außengehege wurden nur in weniger als der Hälfte der Zoos eingesetzt.

Positiv fiel auf, dass die Elefanten in den besuchten Zoos kaum noch angekettet werden und falls doch, nur kurzzeitig zu Untersuchungszwecken.

Den Daten der Haltungsanalysen entsprechend, fielen die Auswertungen zur Fußgesundheit aus: Nur 36 % der untersuchten Elefanten litten bisher noch niemals unter Fußerkrankungen. Allein zum Zeitpunkt der Untersuchung wurden bei 27 % der Tiere akute Erkrankungen festgestellt, die unter Behandlung standen. Hierbei handelte es sich hauptsächlich um Abszesse oder andere entzündliche Veränderungen im Bereich des Nagelbetts.

Weiterhin wurden 30 % der Elefanten als übergewichtig eingeschätzt und 36 % der Tiere zeigten stereotype Bewegungsmuster.



## 7 Summary

Jan Schmidt-Burbach

### **Thermographic determination of physiological heat profiles and pedographic examinations on the extremities as well as husbandry analyses of captive Asiatic Elephants (*Elephas maximus*)**

Faculty of Veterinary Medicine, Universität Leipzig and Zoo Leipzig

Submitted in January 2008

94 pages, 56 figures, 7 tables, 131 references

Keywords: Thermography, foot diseases, pedography, heat profile, elephants, husbandry, pressure distribution

Foot diseases are one of the most frequent diseases in zoo elephants and usually therapy is difficult due to the diseases often being caused by husbandry conditions. In the recent past thermography used as a non-invasive diagnostic aid showed promising results in detecting foot diseases at an early stage. Thus far, missing data on the physiologic thermographic heat pattern and its influencing factors prevented a wider use of this diagnostic method and a more objective evaluation of its findings.

Pedography has been used commonly in human healthcare for a number of years to detect pathological conditions related to pressure distribution in the foot. In Elephants this diagnostic method has not been used so far, but it might produce important insights into the pressure distribution under the elephant's foot and the impact of husbandry conditions.

A total of 95 Asiatic Elephants in 17 European zoos were systematically examined using a high resolution thermographic camera and physiologic heat profiles of elephant's feet without known foot diseases were established. To allow a more objective evaluation of thermographic findings, the feet and toes were divided schematically into defined areas for measurement purposes, based on anatomical features for which the temperature data was then plotted to produce heat curves for each area.

Measurements of temperatures pertaining to similar areas of different elephants showed strong individual fluctuation. Temperature variation was as high as 8 °C in similar areas between elephants. Thus, evaluation of thermographic findings should never be based on absolute temperature readings alone.

This strong variation is partly caused by environmental factors during the examination. With environmental temperatures between 17,5 °C and 23 °C, a one degree increase of this temperature will cause a 0,5 °C increase of the heat radiation of the feet. An increase of air humidity by 1 % will cause an increase of 0,03 °C of the measured thermographical heat radiation.

The physiological heat profiles for coronary and hoof wall areas of the toes showed an arched, parable-like shape when plotted from the medial over the cranial to the lateral toes. The highest temperature readings were found on the cranial toes. The difference between coronary and hoof wall temperatures of similar toes were constant all over the foot. The physiological heat profiles of the toe areas above the coronary region did not show this arched shape but stayed below the coronary temperature readings except on the medial toe. On comparison with thermographic findings of

inflamed toes, a strong increase of this area above the coronary band was found which exceeded the temperature of the coronary region. This characteristic can be used as an indicator for acute inflammations.

A regular heat profile, which resembles closely the physiological heat profile created in this study and which shows constant temperature differences between the defined areas of the single toes, is a good indicator of healthy foot.

It is recommended that thermographic examinations always are evaluated using conventional observation of the heat patterns in conjunction with the additional creation of a heat profile to minimize subjectivity by the clinician.

For the first time three elephants were examined in this study using a new pedographic method to gain information on the pressure distribution below the elephant's foot.

As found in humans as well as in pedographically examined cows, the pressure distribution in elephant's feet showed a characteristic profile. Pressure peaks showed up especially in the cranial area of the foot, possibly the border between sole and pad, as well as in the caudal region in the shape of two pressure pillars. Experiments with a method to simulate softer ground seemed to lower the pressure peaks slightly in favor of a broader distribution, but were very difficult to evaluate, especially considering the small sample size.

This method is also suited to register the actual area size put under pressure by the elephant, which was shown to rise under increased pressure, e. g. three legged standing.

Despite some encountered methodical and technical problems, pedography of elephants is going to be a very promising field for further scientific studies in order to acquire more information on the physiology of pressure distribution.

Data on husbandry conditions of the 17 visited zoos and as well as data on frequency and type of foot diseases and other health parameters of all 95 examined elephants were also collected and evaluated.

A strong need for improvement was observed in terms of enclosure sizes and the surface materials used in indoor enclosures. Also, daily routines to increase activity of the elephants in the outdoor enclosures were found to be carried out only in half of the visited zoos.

On a positive note, elephants in the evaluated zoos were hardly ever chained and if so, only for examination purposes.

According to the data of the husbandry evaluation the information on the current status of foot health showed the need for improvement: Only in 36 % of the examined elephants foot problems were so far not encountered. On the time of examination 27 % of the animals were found to be under ongoing treatment for foot diseases. Mostly these were abscesses or other inflamed processes in the area of the nail's laminar tissue.

Out of the study sample, 30 % of the elephants were estimated to be overweight and 36 % showed stereotypic movement patterns.

## 8 Literaturverzeichnis

- American Diabetes Association. Preventive foot care in people with diabetes. *Diabetes Care*. 2003;26(1):78-9.
- Amalu WC. A review of breast thermography [Monografie im Internet]. International Academy of Clinical Thermography. 1998 [Zitiert am 27.3.2006], von <http://www.iact-org.org/articles/articles-review-btherm.html>
- Ammer K. Thermology 2004 - a computer-assisted literature survey *Thermol Int*. 2005;15(1):5-37.
- Ange K, Crissey SD, Doyle C, Lance C, Hintz HF. A survey of African (*Loxodonta africana*) and Asian (*Elephas maximus*) elephant diets and measured body dimensions compared to their estimated nutrient requirements. 2001 Conference AZA; USA, AZANutritional Advisory Group; 2001.
- Belterman R. Asian elephant studbook (*Elephas maximus*). Europe regional, Rotterdam Zoo. Rotterdam, The Netherlands: 2003.
- Benz A. The elephant's hoof: Macroscopic and microscopic morphology of defined locations under consideration of pathological changes [Dissertation med. vet.]. Universität Zürich; 2005
- Blumenbach JF. Handbuch der Naturgeschichte. Göttingen: 1797.
- Buckley C. Captive elephant foot care: Natural habitat husbandry techniques. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press. 2001; S. 53-5.
- Bukshteyn IM. Thermography and breast health - Early warning of possible cancer, *New Life Journal*; 2003.
- Cavanagh PR, Ulbrecht JS. Clinical plantar pressure measurement in diabetes: Rationale and methodology. *Foot*. 1994;4(3):123-35.
- Cena K, Clark JA. Thermographic measurements of the surface temperatures of animals. *J Mammal*. 1973;54(4):1003-7.
- Ciszek D. *Elephas maximus* [Monografie im Internet]. Animal Diversity Web. 1999 [Zitiert am 14.03.2006], von [http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Elephas\\_maximus.html](http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Elephas_maximus.html).
- Clark JA, Cena K. The potential of infra-red thermography in veterinary diagnosis. *Vet Rec*. 1977;100(19):402-4.
- Clauss M, Loehlein W, Kienzle E, Wiesner H. Studies on feed digestibilities in captive Asian elephants (*Elephas maximus*). *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2003;87(3-4):160-73.
- Clubb R, Mason G. A review of the welfare of zoo elephants in Europe. Oxford, University of Oxford, Animal Behaviour Research Group, Department of Zoology; 2002.
- Clutton-Brock J. A natural history of domesticated mammals. Cambridge: Cambridge University Press; 1999.
- Delahaniy DD, Georgi JR. Thermography in equine medicine. *J Am Vet Med Assoc*. 1965;147:235-8.
- DeLamo DA, Heath JE. Surface temperature regulation in guanacos determined by thermography. *Physiologist*. 1985;28:273.
- Distl O, Krausslich H, Mair A, Spielmann C, Diebschlag W. Computer aided analysis of pressure distribution underneath claws of cattle. *DTW Dtsch*

- Tierarztl Wochenschr. 1990;97:474-9.
- Easa PS. Movement pattern and home range of Asian elephants, *Elephas maximus*, in Parambikulam Wildlife Sanctuary, Kerala. In: Silas EG, Krishnan Nair M, Nimalan G, Herausgeber. The Asian elephant: Ecology, biology, diseases, conservation and management. Kerala: Kerala Agricultural University.1992; S.
- EAZA. Recommendations for elephant husbandry. 1997.
- Eisenberg JF, McKay GM, Jainudeen MR. Reproductive behavior of the Asiatic elephant (*Elephas maximus maximus* L.). Behaviour. 1971;38:193-225.
- Eulenberger K, Kämpfer P. Die Infrarotthermografie bei Zoo- und Wildtieren - Erste Erfahrungen. Verhandlungsberichte der Erkrankungen der Zootiere. 1994;36:181-3.
- Evans GF. Elephants and their diseases. Rangoon, Burma: Government Printing; 1910.
- Fernando P, Pfreder ME, Encalda SE, Lande R. Mitochondrial DNA variation, phylogeography and population structure of the Asian elephant. Heredity. 2000;84:362-72.
- FLIR. AGEMA 570 Handbuch. Frankfurt am Main: FLIR Systems GmbH; 1998.
- Fouraker M. International Elephant Foundation. 2000 [Zitiert am 14.03.2006], von <http://www.elephantconservation.org/viewindex.asp?MainpageID=4>.
- Fowler ME. Hoof problems in zoo animals. Proceedings of the American Association of Zoo Veterinarians; 1978.
- Fowler ME. Foot care in elephants. In: Fowler ME, Herausgeber. Zoo and Wild Animal Medicine. W. B. Saunders Company. 1993; S. 448-53.
- Fowler ME. Glossary. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The Elephant's Foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 155-8.
- Fowler ME. An overview of foot conditions in Asian and African elephants. In: Csuti B, Bechert US, Sargent EL, Herausgeber. The Elephant's Foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 3-7.
- Fowler ME, Miller RE. Zoo and wild animal medicine. St. Louis, Missouri: W. B. Saunders Company; 2003.
- Friend TH, Parker ML. The effect of penning versus picketing on stereotypic behavior of circus elephants. Appl Anim Behav Sci. 1999;64:213-25.
- Gage LJ. Treatment of Osteomyelitis in Elephant Feet. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 117-8.
- Galloway M. Update on 1990 chaining survey. 12th International Elephant Workshop; Syracuse, NY, 1991.
- Gaussorgues G. Infrared thermography. London: Chapman & Hall; 1994.
- Gilchrist W. A practical memoir of the history and treatment of the diseases of the elephant. Calcutta, India: 1841.
- Göltenboth R, Klös HG. Krankheiten der Zoo- und Wildtiere. Berlin: Blackwell Wissenschaftsverlag GmbH; 1995.
- Griede T. Results of the 1999 Elephant Survey. EAZA Conference; Basel, EAZA Executive Office, Amsterdam; 2000.
- Haberman J, Francis J, Love T. Screening a rural population for breast cancer using thermography and physical examination. Ann N Y Acad Sci. 1980;335:492-500.
- Hall J, Bramlage LR, Kantrowitz BM, Page L, Simpson B. Correlation between

- contact thermography and ultrasonography in the evaluation of experimentally -induced superficial flexor tendinitis. Proceedings of the Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners; 1987.
- Hartl GB, Kurt F, Tiedemann R, Gmeiner C, Nadlinger K, Mar KU, et al. Population genetics and systematics of Asian elephant (*Elephas maximus*): A study based on sequence variation at the Cyt b gene of PCR-amplified mitochondrial DANN from hair bulbs. *Z Säugetierkd.* 1996;61(5):285-94.
- Haufellner A, Kurt F, Schilfarth J, Schweiger G. Elefanten in Zoo und Circus, Dokumentation Teil 1: Europa. European Elephant Group; 1993.
- Hennig EM, Valiant GA, Liu Q. Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. *J Appl Biomech.* 1996;12:143-50.
- Herrick AL, Hutchinson C. Vascular imaging. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2004;18(6):957-79.
- Hilsberg S. Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin [Dissertation med. vet.]. Universität Leipzig; 2000
- Hobbins W. Thermography and pain. In: Liss AR, Herausgeber. *Biomedical Thermology.* New York: 1982; S. 361-75.
- Hofmann W. Rinderkrankheiten. Band 1: Innere und Chirurgische Erkrankungen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer Stuttgart; 1992.
- Holmes LC, Gaughan EM, Gorondy DA, Hogge S, Spire MF. The effect of perineural anesthesia on infrared thermographic images of the forelimb digits of normal horses. *Can Vet J.* 2003;44(5):392-6.
- Hubbard J, Hoyt C. Pain evaluation in 805 studies by infrared imaging. *Thermology.* 1986;1(-):161-6.
- Hughes JA, Southard M. Preventive foot care for an Asian elephant at Mesker Park Zoo and Botanic Garden. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. *The elephant's foot.* Ames: Iowa State University Press. 2001; S. 73-7.
- Jainudeen MR, Katongole CB, Short RV. Plasma testosterone levels in relation to musth and sexual activity in the male Asiatic elephant (*Elephas maximus*). *J Reprod Fertil.* 1972;29(-):99-103.
- Jainudeen MR, Scheurmann E. Erkrankungen des Arbeitselefanten (*Elephas maximus*) in Sri Lanka (Ceylon) unter Berücksichtigung der Diagnose- und Therapiemöglichkeiten im Lande. *DTW Dtsch Tierärztl Wochenschr.* 1975;82(9):355-9.
- Jones C-H. Thermography of the female breast. In: Parsons CA, Herausgeber. *Diagnosis of breast disease.* Baltimore: University Park Press. 1983; S. 214-34.
- Karstädt D, Möllmann K-P, Pinno F, Vollmer M. Sehen im Infrarot: Grundlagen und Anwendungen der Thermographie. *Physik in unserer Zeit.* 1998;29:6-15.
- Kemf E, Jackson P. Wanted alive: Asian elephants in the wild. *WWF Status report.* 1995.
- Kemf E, Santiapillai C. Wanted alive! Asian elephants in the wild. 2000 *WWF Species status report.* 2000;
- Keul J. Hitze und Sport. *TW Sport + Medizin.* 1996;8:130-2.
- Klir JJ, Heath JE. An infrared thermographic study of surface temperature in relation to external thermal stress in three species of foxes: The red fox (*Vulpes vulpes*), arctic fox (*Alopex lagopus*), and kit fox (*Vulpes macrotis*).



- Physiol Zool. 1992;65(5):1011-21.
- Krishnamurthy V, Wemmer C. Timber elephant management in the Madras presidency of India (1844-1947). A week with Elephants: Proceedings of the International Seminar on the Conservation of Asian Elephants; Oxford University Press; 1995.
- Kurt F, Weisz I, Wüstenhagen A, Kriegl K, Martin F, Pieler E. Methoden und Traditionen bei der Nahrungsvorbereitung. In: Kurt F, Herausgeber. Elefant in Menschenhand. Filander Verlag.2001; S. 229-46.
- Lahiri-Choudhury DK. Historical lessons for the treatment of foot diseases in captive Asian elephants. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 81-3.
- Lawson R. Thermography; a new tool in the investigation of breast lesions. Can Serv Med J. 1957;8(8):517-24.
- Lawson R, Chughtai M. Breast cancer and body temperatures. Can Serv Med J. 1963;88:68-70.
- Macdonald AG, Land DV, Sturrock RD. Microwave thermography as a noninvasive assessment of disease activity in inflammatory arthritis. Clin Rheumatol.1994;13(4):589-592.
- Macdonald D. The new encyclopedia of mammals. Oxford University Press; 2001.
- Marey JE. De la locomotion terrestre chez les bipedes et les quadrupedes. Journal de l'anatomie et de la physiologie. 1895;9:42.
- Mariappa D. Anatomy and histology of the Indian elephant. Oak Park, Michigan: Indira Publishing House; 1986.
- Mason GJ. Stereotypies: A critical review. Anim Behav. 1991;41:1015-37.
- Matschie P. Sitzungsberichte der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin. 1900;8:189.
- McKay GM. Behavior and ecology of the Asiatic elephant in Southeastern Ceylon. Smithsonian Contribution to Zoology. 1973;125:113 pp.
- Mikota SK. Medical management of the elephant. West Bloomfield, Michigan: Indira Publishing House; 1994.
- Ming Z, Zaproudina N, Siivola J, Nousiainen U, Pietikainen S. Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome. Pathophysiology.2005;12(2):137-41.
- Minns RJ, Craxford AD. Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis: a comparison of static and dynamic methods of assessment. Clin Orthop Relat Res. 1984;187:235-42.
- Natrup J. Druckmessung in der Dekubitusprophylaxe und -therapie. Orthopädie-Technik. 2003;09/2003:628-34.
- Nowak RM. Walker's mammals of the world. London: The John Hopkins University Press; 1995.
- Nyirjesy I, Ayme Y. Clinical evaluation, mammography and thermography in the diagnosis of breast carcinoma. Thermology. 1986;1:170-3.
- Orlin M, Stetson K, Skowronski J, Pierrynowski M. Foot pressure distribution: methodology and clinical application for children with ankle rheumatoid arthritis. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1997;12(3):17.
- Palmer SE. Effect of ambient temperature upon the surface temperature of the equine limb. Am J Vet Res. 1983;44(6):1098-101.
- Pflumm W. Biologie der Säugetiere. Berlin: Parey Verlag; 1989.
- Purohit RC, McCoy MD. Thermography in the diagnosis of inflammatory

- processes in the horse. *Am J Vet Res.* 1980;41(8):1167-74.
- Rajankutty K. Foot disorders and its care in elephants, Resource Materials of Refresher Course on Healthcare and Management of Asian Elephants. Elephant Study Centre, College of Veterinary and Animal Sciences, Kerala Agricultural University, India;2004: 150-2.
- Ramsay EC, Henry RW. Anatomy of the elephant foot. In: Csuti B, Bechert US, Sargent EL, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S.9-12.
- Ratnasinghe A. Elephant lore - in myth, legend, religion and war [Monografie im Internet]. [Zitiert am 15.03.2006], von <http://www.lankalibrary.com/myths/elephant.htm>.
- Rees P. Low environmental temperature causes an increase in stereotypic behaviour in captive Asian elephants(*Elephas maximus*). *J Therm Biol.* 2004;29(-):37-43.
- Reimers M, Schmidt S, Kurt F. Daily activities and home range of Asian elephants of the Uda Walawa Nationalpark, Sri Lanka. International Elephant and Rhino Research Symposium; Wien, 2001.
- Roca AL, Geogiadis N, Pecon-Slattery J, O'Brien SJ. Genetic evidence for two species of elephant in africa. *Science.* 2001;293:1473-77.
- Roehrs JM, Brockway CR, Ross DV, Reichard TA, Ullrey DE. Digestibility of timothy hay by African elephants. *Zoo Biology.* 1989;8(4):331-7.
- Roocroft A, Oosterhuis J. Foot care for captive elephants. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Iowa State University Press.2001; S.21-55.
- Rüedi D. Elefanten. In: Göltenboth R, Klös HG, Herausgeber. Krankheiten der Zoo- und Wildtiere. Berlin: Blackwell Wissenschaftsverlag GmbH.1995; S. 156-89.
- Sadler WC. The role of nutrition and its possible impact on elephant foot care. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 13-5.
- Schmidt MJ. Elephants (Proboscidae). In: Fowler ME, Herausgeber. Zoo and Wild Animal Medicine. Philadelphia: W. B. Saunders Company.1986; S. 883-923.
- Schmitt D. Proboscidea (Elephants). In: Fowler ME, Miller RE, Herausgeber. Zoo and Wild Animal Medicine. St. Louis, Missouri: W. B. Saunders Company.2003; S. 541-50.
- Schultz C. Was man über Wärmebildkameras wissen sollte. Lübeck, Dräger Safety AG & Co. KGaA; 2004.
- Schulze M. Thermographie am Huf [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Universität Berlin; 2004
- Schwammer HM. Elephant husbandry and foot care at the Schönbrunner Tiergarten, Vienna. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 69-71.
- Sciarra J. Breast cancer: Strategies for early detection. Thermal assessment of breast health. Proceedings of the International Conference on Thermal Assessment of Breast Health; MTP Press LTD.; 1983.
- Seidon A. Procedure for nail reconstruction and treatment for an Asian elephant. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. The elephant's foot. Ames: Iowa State University Press.2001; S. 89-91.
- Seilkopf G. Fussleiden der Elefanten [Dissertation med. vet.]. Berlin: Humboldt



- Universität zu Berlin; 1959.
- Shoshani J, Eisenberg JF. *Elephas maximus*. Mammalian Species. 1982;182:1-8.
- Smith WM. Applications of thermography in veterinary medicine. Ann N Y Acad Sci. 1964;121:238-54.
- Smuts MM, Bezuidenhout AJ. Osteology of the thoracic limb of the African elephant (*Loxodonta africana*). Onderstepoort J Vet Res. 1993;60(1):1-14.
- Smuts MM, Bezuidenhout AJ. Osteology of the pelvic limb of the African elephant (*Loxodonta africana*). Onderstepoort J Vet Res. 1994;61(1):51-66.
- Steel JH. A manual of the diseases of the elephant. Madras, India: Lawrence Asylum Press; 1885.
- Stevenson MF, Walter O. Management guidelines for the welfare of zoo animals : Elephants. London, British & Irish Association of Zoos & Aquariums 2006; 2006.
- Strömberg B. Thermography in veterinary medicine. Bibl Radiol. 1975;6:231-6.
- Sukumar R. The Asian elephant: Ecology and management. Cambridge University Press; 1989.
- Taylor VJ, Poole TB. Captive breeding and infant mortality in Asian elephants: A comparison between twenty western zoos and three eastern elephant centers. Zoo Biology. 1998;17:311-32.
- Thomas D, Cullum D, Siahamis G, Langlois S. Infrared thermographic imaging, magnetic resonance imaging, CT scan and myelography in low back pain. Br J Rheumatol. 1990;29(4):268-73.
- Tiedemann R. Populationsgenetik. In: Kurt F, Herausgeber. Elefant in Menschenhand. Filander Verlag.2001; S. 79-84.
- Tiedemann R, Kurt F, Haberhauer A, Hartl GB. Differences in spatial genetic population structure between African and Asian elephant (*Loxodonta africana*, *Elephas maximus*) as revealed by sequence analysis of the mitochondrial Cyt b gene. Acta Theriol. 1998;Suppl. 5:123-34.
- Tipler PA. Physik. Spektrum Akademischer Verlag; 1994.
- Tunley BV, Henson FM. Reliability and repeatability of thermographic examination and the normal thermographic image of the thoracolumbar region in the horse. Equine Vet J. 2004;36(4):306-12.
- Turner TA. Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. Vet Clin North Am Equine Pract. 1991;7(2):311-38.
- Turner TA. Diagnostic thermography. Vet Clin North Am Equine Pract. 2001;17(1):95-113.
- Turner TA, Fessler JF, Lamp M, Pearce JA, Geddes LA. Thermographic evaluation of horses with podotrochlosis. Am J Vet Res. 1983;44(4):535-9.
- Vaden MF, Purohit RC, McCoy MD, Vaughan JT. Thermography: a technique for subclinical diagnosis of osteoarthritis. Am J Vet Res. 1980;41(8):1175-9.
- van der Tol PPJ, Metz JHM, Noordhuizen-Stassen EN, Back W, Braam CR, Weijjs WA. The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. J Dairy Sci. 2002;85(6):1476-81.
- van Hoogmoed LM, Snyder JR. Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses. Vet J. 2002;164(2):129-41.
- van Soest PJ. Allometry and ecology of feeding behavior and digestive capacity in herbivores: A review. Zoo Biology. 1996;15:455-79.
- Vereecke E, D'Août K, De Clercq D, Van Elsacker L, Aerts P. Dynamic plantar pressure distribution during terrestrial locomotion of bonobos (*Pan paniscus*).

- Am J Phys Anthropol. 2003;120(4):373-83.
- Verschooten F, Desmet P, Verbeeck J. Skin surface temperature measurements in horses by electronic thermometry. *Equine Practice*. 1997;19:16-23.
- Veves A, Murray HJ, Young MJ, Boulton AJ. The risk of foot ulceration in diabetic patients with high foot pressure: a prospective study. *Diabetologia*. 1992;35:660-3.
- von Houwald F. Foot problems in Indian Rhinoceroses (*Rhinoceros unicornis*) in zoological gardens: Macroscopic and microscopic anatomy, pathology, and evaluation of the causes. [Dissertation med. vet.]. Universität Zürich; 2001
- Waldsmith JK, Oltmanns JI. Thermography: subclinical inflammation diagnosis, rehabilitation and athletic evaluation. *J Equine Vet Sci*. 1994;14:8-10.
- Weil M, Litzke LF, Fritsch R. Diagnostic validity of thermography of lameness in horses. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 1998;26(6):346-54.
- West G. Occurrence and treatment of nail/foot abscesses, nail cracks, and sole abscesses in captive elephants. In: Csuti B, Sargent EL, Bechert US, Herausgeber. *The elephant's foot*. Ames: Iowa State University Press. 2001; S. 93-7.
- Williams TM, Worthy GAJ. Anatomy and physiology: The challenge of aquatic living. In: Hoelzel R, Herausgeber. *Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach*. Oxford: Blackwell Science. 2002; S. 73-97.
- Wöppel W. Die aktive Fiebertherapie [Monografie im Internet]. 2003 [Zitiert am 24.3.2006], von <http://www.hufeland.com/fiebertherapie.html>.
- Young-Soo K, Yong-Eun C, Ho-Yeal Z. Clinical significance of digital infrared thermographic imaging in spinal surgery for multiple disc herniations. *European Journal of Thermology*. 1998;8:118.
- Zeiner H, Schobesberger H, Skalicky M, Stanek C. Effect of different claw trimming methods on the pressure distribution under the bovine claw-an in vitro study. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr*. 2007;120(3-4):165-72.

Zitierte Webseiten können auf dem beiliegenden Datenträger gefunden werden.

## 10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abbildung 1: Körpermassen und Druckbelastung eines Elefantenfußes	9
Abbildung 2: Strahlungsleistung eines Schwarzen Strahlers	17
Abbildung 3: Altersverteilung der untersuchten Elefanten	26
Abbildung 4: Sensornetz der Messmatte	28
Abbildung 5: Schema des Untersuchungsablaufs	33
Abbildung 6: Definierte Meßbereiche am Vorderfuß, kraniale Ansicht	35
Abbildung 7: Pedografie eines Vorderfußes	39
Abbildung 8a: Thermobild eines Vorderfußes, Elefant 1, T= 19,5 °C	40
Abbildung 8b: Thermobild eines Vorderfußes, Elefant 2, T= 18,0 °C	40
Abbildung 8c: Thermobild eines Vorderfußes, Elefant 3, T= 15,0 °C	40
Abbildung 9: Thermobild eines rechten Vorderbeines einer Elefantenkuh	41
Abbildung 10: Thermobild Zehe IV eines Vorderfußes mit Perioplum	43
Abbildung 11: Mediale Ansicht eines Hinterfußes	44
Abbildung 12: Lateralansicht eines Vorderbeines mit Karpalgelenkmarkierung	44
Abbildung 13: Kranialansicht eines Vorderbeines mit Karpalgelenkmarkierung	44
Abbildung 14: Physiologisches Wärmeprofil Vorderfüße	45
Abbildung 15: Physiologisches Wärmeprofil Vorderfüße mit Konfidenzintervall	45
Abbildung 16: Physiologisches Wärmeprofil Hinterfüße	46
Abbildung 17: Physiologisches Wärmeprofil Hinterfüße mit Konfidenzintervall	47
Abbildung 18: Physiologisches Wärmeprofil Karpal / Subkarpalregion	48
Abbildung 19: Physiologisches Wärmeprofil Tarsal / Subtarsalregion	48
Abbildung 20: Thermobild Bulle 1, linker Vorderfuß	49
Abbildung 21: Thermobild Bulle 1, rechter Vorderfuß	49
Abbildung 22: Wärmeprofil Bulle 1, linker Vorderfuß	50
Abbildung 23: Wärmeprofil Bulle 1, rechter Vorderfuß	50
Abbildung 24: Thermobildzusammenstellung Kuh 1	51
Abbildung 25: Wärmeprofil Kuh 1, linker Vorderfuß	52
Abbildung 26: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Vorderfuß	52
Abbildung 27: Wärmeprofil Kuh 1, linker Hinterfuß	52
Abbildung 28: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Hinterfuß	52
Abbildung 29: Wärmeprofil Kuh 1, linker Vorderfuß, Karpal / Subkarpal	53
Abbildung 30: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Vorderfuß, Karpal / Subkarpal	53
Abbildung 31: Wärmeprofil Kuh 1, linker Hinterfuß, Tarsal / Subtarsal	53
Abbildung 32: Wärmeprofil Kuh 1, rechter Hinterfuß, Tarsal / Subtarsal	53
Abbildung 33: Häufigkeit des Auftretens bestimmter Fußerkrankungen	57
Abbildung 34: Häufigkeit des Auftretens von Fußerkrankungen je Tier	58

Abbildung 35: Fußerkrankungshäufigkeit nach Alter	58
Abbildung 36: Körpermasse der untersuchten Elefanten nach Alter	59
Abbildung 37: Häufigkeit der Stereotypieausübung nach Alter	60
Abbildung 38: Stärke der Stereotypieausprägung nach Erkrankungshäufigkeit	60
Abbildung 39: Kraft in N bei Pedografie von Ratna	62
Abbildung 40: Kraft in N bei Pedografie von Kanaudi	62
Abbildung 41: Druckfläche in cm <sup>2</sup> bei Pedografie von Ratna	62
Abbildung 42: Druckfläche in cm <sup>2</sup> bei Pedografie von Kanaudi	62
Abbildung 43: Maximaldruck in mbar bei Pedografie von Ratna	62
Abbildung 44: Maximaldruck in mbar bei Pedografie von Kanaudi	62
Abbildung 45: 2D-Isobaren Ansicht von Ratnas Vorderfuß	63
Abbildung 46: 3D-Plot der Druckverhältnisse an Ratnas Vorderfuß	63
Abbildung 47: Druckverteilungsmuster Betonboden	64
Abbildung 48: Druckverteilungsmuster gepolsterter Boden	64
Abbildung 49a: Thermobild eines Vorderfußes, Elefant 1, T= 19,5 °C	71
Abbildung 49b: Thermobild eines Vorderfußes, Elefant 2, T= 18,0 °C	71
Abbildung 49c: Thermobild eines Vorderfußes, Elefant 3, T= 15,0 °C	71
Abbildung 50a: Thermobild Elefant 1, optimierte Skala	71
Abbildung 50b: Thermobild Elefant 2, optimierte Skala	71
Abbildung 50c: Thermobild Elefant 3, optimierte Skala	71

### **Tabellen**

Tabelle 1: An der Studie teilnehmende Zoos und untersuchte Elefanten	26
Tabelle 2: Technische Daten der genutzten Thermografiekamera	27
Tabelle 3: Übersicht über Anzahl der thermografischen Aufnahmen und ausgewerteten Meßbereiche	36
Tabelle 4: Temperaturspektrum der Hufwände	42
Tabelle 5: Temperaturspektrum der Kronsäume	42
Tabelle 6: Temperaturspektrum der Zehenareale	43
Tabelle 7: Gehege- und Herdengrößen der besuchten Zoos	54

## 11 Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Eulenberger bedanken meine Dissertation als Doktorvater zu betreuen.

Weiterhin möchte ich mich bedanken bei:

Herrn Dr. Rietschel, für seine häufige Unterstützung und ständige zur Verfügungstellung der Wilhelma Elefanten.

Volker Scholl, Volker Kruschenski und Markus Koch der Wilhelma für ihre Geduld und Mühen bei den häufigen Untersuchungen ihrer Elefanten.

Herrn Dr. Natrup und der GeBiom für die risikofreudige Bereitstellung ihrer wertvollen pedografischen Sensormatte.

Herrn Dr. Andrew Criswell für die Hilfe in statistischen Fragenstellungen.

Allen Tierpflegern der folgenden Zoos und Tierparks für ihre Hilfe und Geduld, den Zooleitungen für die Erlaubnis der Untersuchungen und den dortigen Tierärzten für ihre fachliche Unterstützung und Zeit :

Dierenpark Amersfoort

Burgers' Zoo Arnheim

Zoo Augsburg

Zoo Berlin

Noorder Dierenpark Emmen

Tierpark Hagenbeck

Zoo Hannover

Zoo Karlsruhe

Zoo Leipzig

Tierpark Hellabrunn

Allwetterzoo Münster

Tiergarten Nürnberg

Port Lympne Wild Animal Park

Rotterdam Zoo

Twycross Zoo

Whipsnade Wild Animal Park

Gesondert danken möchte ich dem Allwetterzoo Münster, deren Elefantenteam unter Herrn Michael Adler und insbesondere Herrn Dr. Schaller und Frau Dr. Silinski für die Unterstützung bei der Durchführung der Druckmessungen.

Dem Zoo Leipzig für die Unterstützung bei der zusätzlich durchgeführten Druckmessung.

Dem Zoo Frankfurt und Frau Dr. Dr. Hilsberg für die Inspiration bei der Themenwahl und der anfänglichen Hilfe.

Ganz herzlich dem Energiereferat der Stadt Frankfurt, insbesondere Herrn Tschakert, dessen Thermografiekamera ich für meine Untersuchungen freundlicherweise nutzen durfte.

Der Firma FLIR möchte ich danken für ihre technische Hilfe und problemlose Bereitstellung einer Ersatzkamera in Krisenzeiten.

Susan Mikota für ihr Interesse an dieser Arbeit und ein interessantes, wenn auch zufälliges Treffen.